D.r L. PASQUALINI

# Nozioni Elementari

DI

# Elettrotecnica

2.a EDIZIONE RIVEDUTA, AMPLIATA ED ILLUSTRATA

da 104 incisioni

AGGIUNTA UN' APPENDICE

SULLA TELEGRAFIA SENZA FILI

GENOVA

TIPOGRAFIA R. ISTITUTO SORDOMUTI

1901

D. L. PASQUALINI

# Nozioni Elementari

DI

# Elettrotecnica

2.ª EDIZIONE RIVEDUTA, AMPLIATA ED ILLUSTRATA

**da 104 incisioni**

AGGIUNTA UN' APPENDICE

SULLA TELEGRAFIA SENZA FILI

GENOVA

TIPOGRAFIA R. ISTITUTO SORDOMUTI

1901

*Proprietà letteraria*

## PREFAZIONE ALLA 1.ª EDIZIONE

Lo scopo che mi sono proposto nel compilare il presente libretto è stato quello di svolgere in poche pagine la parte, che direi teorica, del programma per le scuole degli operai specialisti militari della R. Marina; in modo che ne risultasse una succinta guida per l'insegnante e un aiuto per l'allievo.

Non sono entrato nella parte descrittiva, perchè di ciò fanno oggetto speciali pubblicazioni; mi sono limitato all'esposizione delle nozioni fondamentali necessarie all'allievo, perchè questi possa comprendere le descrizioni del materiale che dovrà in seguito maneggiare e coordinare razionalmente le cognizioni, che avrà occasione di raccogliere dai libri o dalla viva pratica.

Ho supposto l' allievo completamente digiuno di cognizioni d' elettricità; in possesso però delle quattro operazioni fondamentali dell' aritmetica.

Ho cercato con ogni sforzo di rendere l' esposizione più elementare che mi fu possibile; pur tuttavia, anche perchè la mole prefissa mi obbligò ad essere molto succinto, non escludo l' aiuto dell' insegnante.

Mi sono limitato a considerare le correnti continue, perchè il programma per gli operai specialisti non tratta delle correnti alternanti.

L. P.

---

## PREFAZIONE ALLA 2.ª EDIZIONE

L'inaspettato favore incontrato dalla prima edizione di questo mio libretto è una prova che le opere di volgarizzazione, che formano tutta una letteratura in Inghilterra e in America, sono bene accolte anche da noi. Da ciò ebbi incoraggiamento a preparare questa seconda edizione.

Qualche capitolo ho ampliato e modificato; molte aggiunte avrei dovuto fare per colmare delle evidenti lacune, ma dubitai, trattando argomenti che non consentono un'esposizione elementare, di togliere al libro il suo carattere. Tuttavia ho tentato di dare una sommaria idea delle correnti

alternate e ho fatto un breve cenno, in appendice, sull'invenzione italiana che interessò tutto il mondo in questi ultimi tempi, sul telegrafo Marconi.

Firenze, Febbraio 1901.

L. P.

---

## CAPITOLO I.

1. — In alcune miniere di ferro e specialmente in quelle dell'isola d'Elba e della Svezia, si trovano certi pezzi di minerale, chiamati *magneti* o *calamite naturali*, che hanno la proprietà di attrarre il ferro. Questa proprietà è spesso molto debole, ma può facilmente esser messa in evidenza tuffando il magnete nella limatura di ferro, le cui particelle rimangono aderenti e molto più negli spigoli acuti che nelle parti piane o rientranti.

È poi un fatto importantissimo questo, che se con uno di tali magneti si strofina ripetutamente e sempre nello stesso verso una verghetta d'acciaio, questa diventa a sua volta una calamita; anch'essa acquista la proprietà di attrarre il ferro; tuffata nella limatura, ne esce ricoperta.

Se si osserva come la limatura si dispone su una verga così magnetizzata, si vede che essa si ammassa, sotto forma di filamenti, verso le estremità, mentre resta più rada verso il mezzo della sbarra, e, proprio

nel mezzo, non resta quasi affatto aderente. Questo ci mostra che la forza d'attrazione è tutta concentrata verso gli estremi della verga, che si dicono *i poli* del magnete o calamita; la zona di mezzo, dove la forza d'attrazione è piccolissima, e perciò la limatura non aderisce, dicesi la *linea neutra.*

Con una di queste calamite, meglio che con una calamita naturale, si possono magnetizzare delle altre sbarre di acciaio; basta perciò con uno dei poli della sbarra magnetizzata, strofinare quella da magnetizzare, avendo cura di andar sempre nello stesso verso e di adoperare sempre lo stesso polo. Si possono così ottenere delle calamite capaci di sorreggere, non solo le piccole particelle che costituiscono la limatura, ma dei grossi pezzi di ferro; e se si magnetizzano molte sbarre separatamente e poi si riuniscono, si forma un *fascio di calamite* che può raggiungere una grande potenza. Molte volte le calamite sono piegate a ferro di cavallo come è indicato nella fig. 1 ed allora vengono munite di un pezzo di ferro che riunisce i poli e che chiamasi *ancora.*

Fig. 1.

Immaginiamo che, come nella figura, la calamita sia attaccata ad un sostegno e che all'ancora sia appeso un piatto sul quale si possano caricare dei pesi. Continuando ad aggiungere peso a peso, si arriva ad un punto in cui l'ancora

si stacca dalla calamita. Il numero di chilogrammi che bisogna mettere sul piatto per ottenere il distacco dell'ancora esprime la *forza portante* della calamita. Quanto più si è spinta la magnetizzazione, ossia quante più volte si è strofinata la sbarra d'acciaio con la calamita che ha servito a magnetizzarla, tanto più grande è la forza portante; si arriva però a un limite oltre il quale, per quanto si faccia, la forza portante non aumenta più. Si dice allora che la calamita è satura. Se l'acciaio impiegato è di buonissima qualità, se la magnetizzazione è fatta bene, si possono ottenere delle forze portanti grandissime; si può arrivare fino a 20 chilogrammi per ogni centimetro quadrato di superficie di contatto fra l'ancora e la calamita o, come si suol dire, di *superficie polare*.

Uno strappo dell'ancora, un urto secco, un riscaldamento alquanto elevato, fanno diminuire la forza portante. Si può facilmente provare che dopo un primo strappo, occorre un numero di chilogrammi assai minore per ottenerne un secondo e che se poi si lascia un certo tempo la calamita *armata* della sua ancora, essa riprende la forza primitiva. Perciò è conveniente per conservare le calamite in tutta la loro potenza di tenerle sempre armate.

2. — Dal modo di disporsi della limatura, abbiamo dedotto che tutta l'azione di un magnete è raccolta verso gli estremi che abbiamo chiamato poli; ma se questi poli si comportano nello stesso modo, per quanto riguarda

l'attrazione del ferro, non sono tuttavia identici fra loro e si comportano in modo differente per altri fenomeni. Sospendiamo infatti una calamita rettilinea ad un filo flessibile, come è indicato nella fig. 2, in maniera che essa rimanga orizzontale. La sbarra comincierà ad oscillare, ma dopo un po' di tempo si fermerà in una determinata direzione, nè sarà possibile farla fermare in una posizione diversa da quella. Osservando attentamente vedremo che quella direzione è sensibilmente quella da settentrione a mezzogiorno e, ripetendo la prova, vedremo anche che la calamita non si ferma indifferentemente con l'uno o l'altro dei due poli rivolti a settentrione, ma bensì è sempre lo stesso polo che resta rivolto dalla stessa parte. Da ciò veniamo a dedurre che i due poli di una calamita sono fra loro diversi e che la terra esercita sui magneti *un' azione direttrice.* Per distinguere i due poli l'uno dall'altro si chiama *Nord* o *Positivo* quello che si rivolge al polo Nord o boreale della terra, e *Sud* o *Negativo* quello che si rivolge al polo Sud o australe della terra. Sulle sbarre magnetiche ordinariamente si segnano con un *N* ed un *S*; molte volte si segna soltanto e in modo qualunque il polo Nord, il quale perciò da molti viene anche distinto col nome di polo *segnato*, dal Sud,

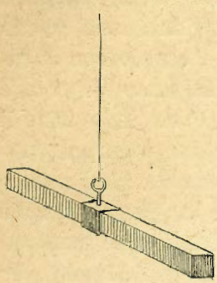


Fig. 2.

che si chiama *non segnato*. La direzione che assume il magnete segna il *meridiano magnetico* del luogo, il quale sensibilmente coincide col meridiano astronomico. Molte volte il magnete è molto leggero ed ha la forma di una losanga; esso porta un piccolo cappelletto in cui è incassata una pietra dura con la quale si appoggia su di una punta molto acuminata. Allora il magnete prende il nome di *ago magnetico* e si porta con tutta prontezza e precisione nel meridiano magnetico. Un ago così fatto può servire ad indicare, in qualunque luogo e in qualunque istante, la direzione del meridiano e a tale scopo è impiegato nella *bussola marina*.

3. — Noi abbiamo ora due sbarre calamitate sulle quali abbiamo segnato i poli col loro nome, dopo averli riconosciuti nel modo che abbiamo più sopra indicato. Ad una di queste sbarre che, sospesa come è mostrato nella fig. 3, si sarà messa in riposo rivolgendo il polo Nord verso settentrione, avviciniamo l'altra sbarra in modo da presentare il polo Nord dell'una al polo Nord dell'altra. Vedremo la sbarra sospesa girare in modo da allontanare il suo polo Nord da quello dell'altra sbarra, manifestando così una ripulsione fra i due poli di egual nome.

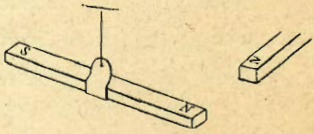


Fig. 3.

Capovolgiamo la seconda sbarra in modo da presentare il suo polo Sud al polo Nord di quella sospesa. Questa ruoterà in modo da avvicinare il suo polo Nord a quello Sud della calamita che gli abbiamo presentata, manifestando così l' esistenza di una forza attrattiva fra i due poli di nome contrario.

Gli stessi esperimenti potremo ripetere avvicinando i due poli della seconda calamita al polo Sud della sbarra sospesa e constateremo che vi è repulsione quando presentiamo il polo Sud; attrazione quando presentiamo il polo Nord.

Possiamo riassumere nel seguente specchietto i risultati delle esperienze:

| **Polo della calamita sospesa** | **Polo della calamita avvicinata** | **Azione che si manifesta** |
|---|---|---|
| Nord | Nord | repulsione |
| Nord | Sud | attrazione |
| Sud | Nord | attrazione |
| Sud | Sud | repulsione |

Donde si vede manifestamente che due poli dello stesso nome si respingono e due poli di nome contrario si attraggono.

4. — Abbiamo osservato come ad una calamita si attacchi la limatura di ferro sotto forma di filamenti

che si raccolgono in maggior quantità agli estremi: vogliamo ora ripetere l'esperienza in un modo un po' diverso. Poniamo la calamita su di un tavòlo e posiamole sopra un cartoncino. Con uno staccio, oppure con uno spolverino, lasciamo cadere dall'alto sul cartoncino della limatura di ferro e nello stesso tempo picchiamo sul cartoncino in maniera che la limatura salti e sia più libera di disporsi come comportano le azioni magnetiche. Vedremo formarsi come delle linee di particelle di ferro (fig. 4), delle quali alcune partono da un polo e vanno a far capo all'altro; altre cessano ad una certa distanza dalla calamita. Veramente dovremmo dire pare che cessino, perchè se non si vedono più, in realtà è che l'azione della calamita è tanto più piccola quanto più grande è la distanza dalla calamita stessa, e quindi a una certa distanza questa azione non è più sufficiente ad attirare e *orientare* le particelle di ferro. Se si potesse avere una calamita infinitamente potente e della limatura di ferro leggerissima che non incontrasse nessuna difficoltà a muoversi sul foglio, vedremmo tutte le linee che partono da un polo, con dei giri più o meno ampi, alcune con dei giri ampissimi, far capo all'altro polo del magnete. Quelle linee, che le particelle di

Fig. 4.

ferro hanno segnato sulla carta, si dicono le *linee di forza* o *di induzione;* esse sono le linee secondo le quali si esercita la *forza magnetica.* In altre parole, se invece di versare sul foglio della limatura di ferro, vi posiamo sopra un piccolo pezzettino di ferro, vedremo questo avvicinarsi all'uno o all'altro dei due poli seguendo una delle linee di forza. Oppure, se supponiamo di disporre sul foglio un piccolo ago calamitato girevole su di una punta, come si disse al § 2, esso si disporrà secondo una linea di forza presentando al polo più vicino della calamita il suo polo di nome contrario (fig. 4); se supponiamo di spostar l'ago seguendo sempre la direzione da esso segnata percorreremo una linea di forza.

Ma bisogna guardarsi dal credere che le linee di forza esistano solo sul foglio; esse esistono in tutto lo spazio che circonda la calamita o, come si suol dire, nel *campo* della calamita, e il foglio e la limatura non hanno servito che a palesarle al nostro spirito con mezzi materiali.

Ma è bene che noi stabiliamo anche una direzione alle linee di forza. Abbiamo detto che se in un punto del campo di un magnete si mette un piccolo ago libero di muoversi in tutti i sensi, esso si mette secondo le linee di forza in quel punto, volgendo al polo più vicino del magnete quello dei suoi poli che ha nome contrario. Stabiliremo che la linea di forza ha la direzione indicata dall'ago andando dal polo Sud al polo Nord di questo. In conseguenza di questa definizione possiamo

dire che le linee di forza partono dal polo Nord di un magnete e fanno capo al polo Sud.

Viceversa, dire che un corpo è magnetizzato, equivale a dire semplicemente che da alcuni punti della sua superficie partono delle linee di forza magnetica che fanno capo ad altri punti; e dicendo che esso corpo in certi punti presenta la polarità nord e in altri quella sud, si intende semplicemente che dai primi punti partono le linee di forza che fanno capo ai secondi punti.

Ma veramente possiamo anche considerare che le linee di induzione non facciano veramente capo alla superficie dei magneti, bensì che esse continuino attraverso il magnete stesso. Infatti se noi apriamo una fessura nel magnete in una direzione perpendicolare alla linea che congiunge i poli, troviamo che in quella fessura si ha un campo magnetico ossia si hanno delle linee di induzione dirette secondo le linee dei poli dal Sud verso il Nord.

Dunque possiamo dire che le linee di induzione attraversano il magnete nel senso della magnetizzazione ossia dal polo Sud al polo Nord escono dal magnete dai punti che presentano polarità nord e rientrano richiudendosi per i punti che presentano polarità sud. Sono delle vere linee chiuse che attraversano tutta la sezione neutra del magnete.

Prendiamo un fascio di anelli di gomma e teniamoli stretti in pugno, la loro disposizione ci può dare una grossolana idea della distribuzione delle linee di induzione nell'interno e attorno a un magnete.

Supponiamo di poter piegare una sbarra, magnetizzata nel senso della sua lunghezza, in modo da portar a contatto gli estremi. Le linee di induzione passano dal polo nord al polo sud senza attraversar l'aria; da nessun punto partirebbero delle linee di forza e quindi in nessun punto la calamita presenterebbe una polarità; essa non darebbe origine a campo magnetico, ossia non eserciterebbe nessuna azione esterna quantunque, rompendola, si riscontrerebbe che essa è magnetizzata.

5. — Antecedentemente abbiamo considerato il caso di un magnete isolato, ossia lontano da altri magneti o da pezzi di ferro; se invece nel campo di una calamita si trova un'altra calamita, le linee di forza che partono dal polo Nord della prima fanno in parte capo al polo sud dell'altra e reciprocamente quelle che partono dal polo Nord della seconda fanno capo in parte al polo Sud della prima, come schematicamente è rappresentato nella figura 5.

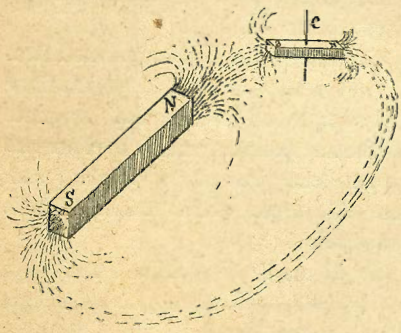


Fig. 5.

Ma le linee di forza hanno l'importante proprietà che, come cor-

doni elastici, tendono ad accorciarsi; senonchè, a differenza dei veri cordoni elastici, mentre la forza di questi è tanto più grande quanto più essi sono allungati, le linee di forza sono tanto più deboli quanto più sono lunghe. Quindi la trazione prodotta dalle linee di forza fra *N* ed *s*, sarà più grande che fra *S* ed *n*, e se la calamita *ns* è girevole intorno al perno *C*, ruoterà in modo da avvicinare il suo polo sud al polo nord dell' altra calamita.

Non possiamo estenderci su questo argomento; ci basti dire che con le proprietà di accorciarsi delle linee di forza, si possono spiegare tutti i fenomeni di attrazione e repulsione fra i poli magnetici. Vediamo invece che cosa succede quando in un campo magnetico portiamo un pezzo di ferro.

Le linee di induzione trovano nel ferro una strada molto più facile che l'aria, o in altre parole il ferro è molto più *permeabile* per le linee di forza che non l' aria; permodochè quando in un campo magnetico si porta un pezzo di ferro, le linee di forza del campo si contorcono e si serrano insieme per passare per il ferro, perchè di là trovano la via meno resistente.

Ma allora in quel pezzo di ferro, dalla faccia *A* (fig. 6) entrano delle linee di forza precisamente come dal polo Sud di una calamita, e dalla faccia *B* partono delle linee di forza, precisamente come dal polo Nord di

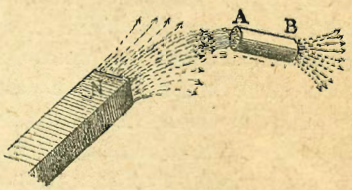


Fig. 6.

una calamita; per cui quella sbarra *A B* è diventata un magnete non per magnetizzazione propria, ma per *magnetizzazione indotta* dalla calamita; se si allontana questa la magnetizzazione del ferro sparisce. Osserviamo che la sbarra indotta *A B*, all'estremo più vicino al polo Nord della calamita *inducente* manifesta polarità Sud, ossia di nome contrario a quello del polo più vicino del magnete inducente. Se il polo della calamita più vicino alla sbarra di ferro fosse stato un Sud, le linee di forza avrebbero avuto direzione contraria e quindi all'estremo *A* si sarebbe manifestata la polarità Nord.

Le linee di forza che dal magnete vanno al pezzo di ferro tendono ad accorciarsi e perciò il ferro è attratto verso la calamita; cosicchè la proprietà dei magneti di attrarre il ferro non è che un fenomeno d'induzione. Ci possiamo anche render ragione del perchè la limatura si dispone in filamenti ai poli di una calamita, giacchè ogni particella, divenuta per induzione una calamita, attrae necessariamente le altre.

Se un ago magnetico libero di muoversi in tutti i sensi si dispone nel piano meridiano, col polo Nord verso settentrione, significa che la Terra si comporta come una calamita e determina un campo di cui le linee di forza vanno verso il polo boreale nella direzione segnata dall'ago. Tutti i pezzi di ferro si trovano quindi in un campo magnetico e quindi tutti devono essere magnetizzati per induzione. Lo sono debolmente perchè debole è il *magnetismo terrestre*, ma

se si ricorre a una sbarra piuttosto lunga e la si mette nella direzione segnata dall' ago magnetico, la si troverà, dopo un po' di tempo, sensibilmente calamitata.

Le linee di induzione quando attraversano l' aria possono essere chiamate anche linee di forza; ma quando attraversano il ferro devono essere chiamate esclusivamente linee d' induzione e noi, in seguito, osserveremo scrupolosamente questa distinzione.

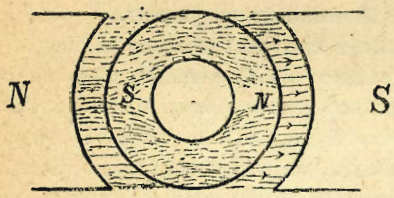


Fig. 7.

Una delle più importanti applicazioni dell' induzione è, come vedremo, quella di un anello di ferro posto fra le espansioni polari di una calamita, fig. 7. Le linee d' induzione si deformano per rimaner dentro al ferro, cosicchè nella regione interna dell' anello non esiste più campo magnetico; nella parte esterna, si forma polarità Sud dalla parte del polo Nord del magnete inducente, perchè da quella parte le linee di induzione entrano nel ferro.

6. — Si è detto che allorquando cessa di esistere il campo magnetico, il ferro che era magnetizzato per induzione perde tutto il suo magnetismo e torna allo stato naturale. È però necessario che il ferro sia dolce

di qualità, veramente dolce alla lima e che sia accuratamente ricotto, se no anche quando il campo cessa, resta una certa quantità di magnetismo che si dice *magnetismo residuo*. Il ferro impuro e anche il ferro dolce se fu rincrudito battendolo o laminandolo, conserva del magnetismo residuo, ma in maggior proporzione lo conserva la ghisa specialmente se dura. La proprietà di conservare il magnetismo residuo dicesi *forza coercitiva;* l'acciaio comune temperato è la sostanza che ha massima forza coercitiva, e perciò viene usato per fabbricare le calamite permanenti.

Un fatto importante è che una sostanza si magnetizza per induzione tanto più fortemente quanto più piccola è la sua forza coercitiva, ossia quanto meno è capace di conservare il magnetismo residuo; così il ferro dolce si magnetizza più fortemente della ghisa, questa più dell'acciaio. Ma poichè, come abbiamo visto, la magnetizzazione per induzione consiste nel passaggio attraverso al corpo delle linee d'induzione, così dire che un corpo si magnetizza più fortemente che un altro equivale a dire che esso lascia passare più linee di induzione, ossia che offre minore *resistenza* alle linee d'induzione, oppure che è più *permeabile* all'induzione magnetica; il ferro ha una *permeabilità magnetica* superiore e quindi una *resistività magnetica* inferiore a quelle della ghisa; la ghisa ha una permeabilità magnetica superiore a quella dell'acciaio comune temperato. Si fabbrica però dell'acciaio speciale che ha una resistività magnetica anche inferiore a quella del ferro dolce.

Il magnetismo indotto in un corpo è poi tanto più intenso quanto più intenso è il campo; però fino a un certo limite, oltre il quale il magnetismo del corpo non può più aumentare per quanto potente diventi il campo inducente. Ciò perchè la resistenza magnetica è maggiore quando il corpo è già attraversato da un certo numero di linee di induzione; e quando questo numero di linee è molto grande, esso è *saturo* e non ne lascia più passare in nessuna maniera.

Vedremo poi più chiaramente parlando delle correnti l'importanza della permeabilità e resistività magnetica.

Dobbiamo notare che non soltanto il ferro, la ghisa e l'acciaio sono dotati di permeabilità magnetica, ma tutti i corpi indistintamente, senonchè vi è una grande differenza fra il ferro e le altre sostanze; queste hanno tutte permeabilità molto vicine a quella dell'aria, mentre quella del ferro può essere anche 2500 volte maggiore e quella della ghisa circa 800 volte. Anche il nichel ha una discreta permeabilità; essa può arrivare fino a 230 volte quella dell'aria. Alcune sostanze hanno invece una permeabilità minore di quella dell'aria ed allora si chiamano *diamagnetiche* e sono respinte invece che attratte dalla calamita. Il corpo più diamagnetico, ossia meno permeabile alle linee d'induzione, è il *bismuto*.

---

## CAPITOLO II.

7. — Prendiamo due lastre una di zinco purissimo ed una di rame e immergiamole tutte due in uno stesso recipiente contenente dell'acqua acidulata con acido solforico; nessun fenomeno apparirà alla superficie delle due lastre, ma se si congiungono le parti che restano esterne al liquido con un filo di rame o un filo metallico qualsiasi, vedremo tosto apparire delle bollicine di gas alla superficie del rame, mentre lo zinco a poco a poco si andrà disciogliendo. — L'acido solforico contenuto nell'acqua attacca lo zinco e forma un sale detto solfato di zinco; ma questa azione non succede se le due lastre di zinco e rame non sono, come si è detto, riunite fra loro metallicamente.

Disponiamo ora il filo che serve a congiungere le due lastre in modo che attraversi un foglio di carta, come è indicato dalla fig. 8, e su questo foglio versiamo della limatura di ferro. — Scuotendo leggermente il foglio vedremo la limatura disporsi intorno al filo a circoli aventi per centro il punto in cui il filo fora la carta.

Interrompiamo la comunicazione del filo con una delle lastre; vedremo tosto cessare lo sviluppo di bollicine gasose sul rame e, scuotendo la carta, la limatura si disporrà in un modo disordinato qualunque, mostrando che è cessata l'azione che prima la orientava a circoli.

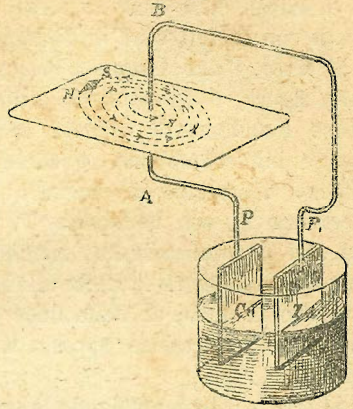


Fig. 8.

Dunque quel filo, per il solo fatto che mette in comunicazione metallica le due lamine, dà origine ad un campo magnetico le cui linee di forza lo circondano in tutto il suo percorso.

Per spiegar ciò si ammette che nel filo metallico, che collega le due lastre, circoli una *corrente elettrica* la quale genera il campo magnetico, e per assegnare poi una direzione a questa corrente, si suppone che essa esca dalla lamina di rame, percorra il filo arrrivando alla lamina di zinco e da questa passi alla lamina di rame attraverso il liquido.

Se poi vogliamo riconoscere il senso in cui vanno quelle linee di forza, dovremo portare vicino al filo un piccolo ago magnetico, il quale si disporrà (§ 4) col

suo asse secondo le linee, tangente ai circoli che circondano il filo e quindi perpendicolare al filo stesso; e la direzione dal polo Sud al polo Nord ci darà (§ 4) la direzione delle linee di forza. — Se la lamina segnata con la lettera *C* è di rame e quella segnata *Z* è di zinco, l'ago assume l'orientazione che è indicata dalla figura, il che equivale a dire che le linee di forza hanno l'andamento indicato dalle piccole freccie. — Ma se noi scambiamo le comunicazioni, ossia colleghiamo l'estremo *P* del filo con la lamina *Z* e l'estremo $P_1$ con la lamina *C*, vedremo l'ago capovolgersi istantaneamente, scambiando la posizione dei poli. Col cambiar gli àttacchi alle lastre, abbiamo dunque invertito la direzione delle linee di forza, le quali ora andranno in direzione opposta a quelle delle piccole freccie.

Allora, poichè scambiando le lastre abbiamo invertita la corrente, possiamo dire che la direzione delle linee di forza dipende dalla direzione della corrente; invertendo la corrente si inverte il campo.

Nella fig. 8 la corrente, per quello che abbiamo detto, esce da *C* e sale da *A* a *B*; se dunque immaginiamo di metterci con l'occhio sul conduttore in *A*, e guardare nel senso della corrente, per noi le linee di forza andranno come le sfere d'un orologio. Se si scambiano gli attacchi alle lastre, si inverte la direzione della corrente; dovremo quindi guardare non più dal basso all'alto, ma dall'alto in basso, e siccome invertendo la corrente si è invertita anche la direzione delle linee di

forza, queste andranno sempre nel senso delle sfere dell' orologio per chi guarda nel senso della corrente.

Abbiamo dunque così un mezzo molto semplice di riconoscere quale sia l' andamento delle linee di forza nel campo prodotto dalla corrente, quando si conosca la direzione di questa; ma questa stessa regola può anche servire a riconoscere la direzione della corrente quando si conosca l' andamento delle linee di forza, il quale può essere sempre indicato da un ago magnetico. Supponiamo per esempio che sia *A B* (fig. 9) un filo metallico percorso da corrente di cui si vuole riconoscere la direzione. Un ago magnetico *N S* portato sotto il filo abbia assunto la direzione indicata nella figura, ciò che significa che le linee di forza hanno l' andamento indicato dalla freccia. — Ora, perchè questo andamento si presenti come quello delle lancette dell' orologio, dobbiamo guardare da *A* verso *B*; dunque la corrente va da *A* verso *B*.

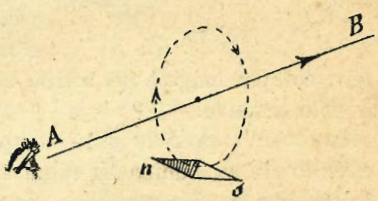


Fig. 9.

L' insieme delle lastre di zinco e rame e del liquido che serve a generar la corrente si dice *una pila*. — La lastra di rame si chiama *elettrodo positivo* e quella di zinco *elettrodo negativo*. — Il filo metallico si chiama il *conduttore esterno*.

La corrente non circola solo nel conduttore esterno ma anche nell' interno della pila andando dall'elettrodo negativo al positivo. — Il cammino fatto dalla corrente chiamasi *circuito elettrico.* — I punti d' attacco del conduttore agli elettrodi si dicono i poli della pila. Si suole poi rappresentare gli elementi di pila nei due modi indicati nella fig. 10. Il polo positivo si suole rappresentare col segno + o con la lettera *c*, ed il negativo col segno meno — o con la lettera *z*. Quando si usano i due segni paralleli, col più lungo e più sottile è consuetudine indicare il polo positivo.

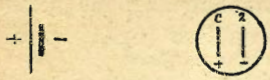


Fig. 10

In quanto precede si è sempre considerato che il circuito fra la lamina di rame e quella di zinco fosse chiuso con un filo metallico. Se questo filo venisse tagliato in un punto qualunque e vi venisse sostituito per un tratto anche piccolo un pezzo di legno secco, di ebanite o di osso, non si manifesterebbe più nessuno dei fenomeni dovuti alle correnti, cioè non si avrebbe più nessuna azione sull' ago calamitato. Ciò significa che non tutti i corpi sono egualmente buoni *conduttori* della corrente. I metalli lo sono tutti, ma in grado diverso come vedremo in seguito.

Vi è poi una serie di sostanze come lo zolfo, la resina, l'ebanite, il legno molto secco, il vetro, la porcellana, ecc. che non conducono la corrente in modo sensibile. — Questi corpi si dicono *isolanti.* Allorchè si dice *chiu-*

*dere il circuito* di una pila si intende stabilire fra i due poli una serie non interrotta di sostanze conduttrici in modo che la corrente possa liberamente circolare.

8. — Per formare la pila abbiamo preso una lastra di zinco purissimo ed una lastra di rame; le abbiamo immerse nell'acqua acidulata con acido solforico e si è visto che fintantochè il circuito resta aperto nessuna azione ha luogo, ma appena il circuito esterno è chiuso, comincia un'azione chimica fra l'acido solforico e lo zinco, che scompare perchè si combina e forma un sale, detto solfato di zinco, che resta sciolto nel liquido. In questa combinazione l'acido solforico va grado grado sparendo dalla soluzione, o come si suol dire, *neutralizzandosi* Se il circuito resta chiuso molto tempo, tutto l'acido solforico si neutralizza e allora la pila è *esaurita*, ossia non dà più corrente. Per riattivarla si deve aggiungere del nuovo acido solforico e si può così continuare finchè tutto lo zinco non sia consumato. Il rame non viene attaccato e può servire per un tempo indefinito.

Se lo zinco non è puro viene attaccato e consumato dall'acido anche quando il circuito è aperto; cosicchè oltre consumarsi lo zinco inutilmente, l'acido si neutralizza in poco tempo e la pila si esaurisce.

Per evitar ciò bisognerebbe impiegare sempre zinco puro, ma poichè è difficile avere dello zinco molto puro, si ricorre ad un artificio che mette quello del

commercio nelle condizioni di quello puro, ossia lo si *amalgama*, che significa ricoprirlo di una lega di mercurio e zinco. Per far ciò lo si tuffa nell'acqua acidulata con acido solforico per ravvivar la superficie e poi si versa sopra del mercurio che resta in parte attaccato sotto forma di goccie; lo si strofina quindi con un cencio o con della stoffa finchè acquista l'aspetto brillante. Ripetendo l'operazione un certo numero di volte si amalgama tutta la superficie.

Però la pila si indebolisce non solamente perchè si neutralizza l'acido solforico sciolto nell'acqua, ma anche perchè lo strato di gas (idrogeno) che si deposita sul rame costituisce come uno strato resistente, attraverso il quale la corrente passa difficilmente. Appena si chiude il circuito la corrente è forte, ma poi per effetto della corrente stessa comincia lo sviluppo di gas sull'elettrodo positivo e allora la corrente diminuisce rapidamente; si dice allora che la pila è *polarizzata*. Se si apre il circuito e lo si lascia aperto il tempo necessario perchè il gas depositatosi sull'elettrodo di rame si disperda, la pila ritorna alla potenza di prima, ossia si *depolarizza*.

Evidentemente l'inconveniente della polarizzazione sarebbe eliminato impedendo il depositarsi dei gas sulle lamine di rame, e ciò si ottiene circondando questa lamina di un sale che assorbe il gas di mano in mano che si produce e che perciò vien detto *depolarizzante*. Può essere usato come depolarizzante il solfato di rame, il quale ha la proprietà di assorbire il gas (idrogeno)

trasformandosi in acido solforico e depositando del rame, che si depone pure sull'elettrodo positivo, ma, essendo conduttore, non provoca l'indebolimento della corrente. Per mantenere la soluzione di solfato di rame in contatto con la lamina di rame, si mette questa dentro un vaso poroso di terra poco cotta ripieno della soluzione di solfato e fuori del vaso poroso si mette lo zinco con l'acido solforico, fig. 11.

La pila così formata prende il nome di pila Daniell; essa dà una corrente molto costante ed ha una durata relativamente lunga; prima che sia esaurita è necessario che sia non solo neutralizzato tutto l'acido sciolto nell'acqua, ma sia anche trasformato tutto il solfato di rame, poichè l'acido solforico proveniente dalla decomposizione di questo sale contribuisce a mantener acida la soluzione che circonda lo zinco. — Questa pila è usata specialmente per telegrafi.

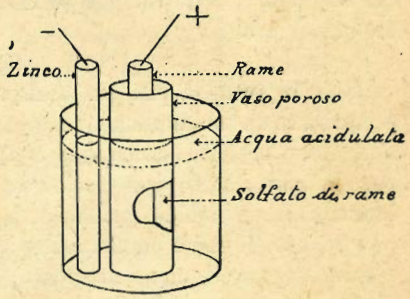


Fig. 11.

La pila italiana è una pila a due liquidi identica alla Daniell; solamente che la separazione fra i due liquidi è ottenuta per differenza di peso specifico invece che con un vaso poroso.

Nella pila di Bunsen come depolarizzante è usato l'acido nitrico e poichè quest'acido intacca il rame, si adopera invece il carbone di storta come elettrodo positivo.

Nella pila Leclanchè l'acido solforico è sostituito col cloruro d'ammonio e per depolarizzante è usato il biossido di manganese.

Vi è poi un'infinità di altre pile che non possiamo qui descrivere, come le pile secche Gassner, Helesen, de Place, ecc.

9. — In tutte le pile più usate l'elettrodo negativo è costituito da una lamina di zinco, ma ciò non è strettamente necessario, come non è necescario impiegare per liquido l'acido solforico. Due metalli qualunque immersi in un liquido qualsiasi, possono formare una pila se uno di essi è più dell'altro attaccato dal liquido, e sarà sempre il meno attaccato quello che formerà l'elettrodo positivo. Così per esempio se nell'acqua di mare si immergono due lamine una di ferro e una di bronzo, si forma una pila che ha per elettrodo positivo il bronzo perchè meno attaccabile.

Ma non è neppur necessario che sieno due metalli diversi; i due elettrodi possono esser formati dallo stesso metallo se questo si trova in condizioni diverse rispetto al liquido. Così, supponendo d'aver due lamine di piombo immerse nell'acqua acidulata, se le due lastre sono identiche non potremo ottenere nessuna corrente, ma se invece una ha la superficie ravvivata

di fresco e l'altra è *ossidata* per esser stata esposta alle intemperie o altro, si ha subito una pila capace di dar una corrente.

Lo stato diverso delle due lastre di piombo lo possiamo ottenere elettricamente, mandando la corrente di una pila in modo che entri per esempio per la lastra $P$ (fig. 12) ed esca per la $P_1$, ben presto la lamina $P$ si ricopre di una pellicola di ossido color pulce, mentre la lamina $P_1$ diventa tersa lucente. La differenza formatasi fra le due lamine fa sì che esse possano funzionare da elettrodi di una pila e restituire la corrente che noi abbiamo impiegato a prepararle. — È questo il principio su cui si fondano gli accumulatori elettrici i quali consistono essenzialmente in due lamine di piombo, una coperta d'ossido e una allo stato naturale, immerse nell'acqua acidulata. La lastra positiva è quella coperta d'ossido, la quale nella corrente di scarica perde lo strato d'ossido o diventa uguale all'altra quando l'accumulatore è completamente scarico. — Per ricaricarlo bisogna mandargli per un certo tempo una corrente che entri dalla lamina positiva, o, in altre parole, si deve collegare il polo positivo dell'accumulatore al polo positivo della sorgente.

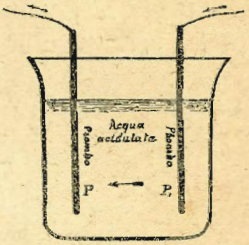


Fig. 12.

L'ossido di piombo non è altro che il minio e perciò

per formare più presto gli accumulatori, anzichè far depositare l'ossido dalla corrente, si ricoprono le lastre di minio impastato con acido solforico. Le lastre si fanno allora tutte perforate perchè la pasta possa trovar presa e rimaner sostenuta.

---

## CAPITOLO III.

10. — Abbiamo veduto che un ago magnetico $NS$ che sia libero di muoversi (per esempio sospeso su di una punta) si orienta in modo da dirigere il suo polo Nord verso Settentrione. Supponiamo ora di passare col conduttore esterno di una pila al disopra e al disotto dell' ago, come è indicato dalla fig. 13, in modo da formare una *spira* che circonda l' ago nel senso della lunghezza. Quando chiudiamo il circuito, se $C$ è il rame o il polo positivo e $Z$ lo zinco o il polo ne-

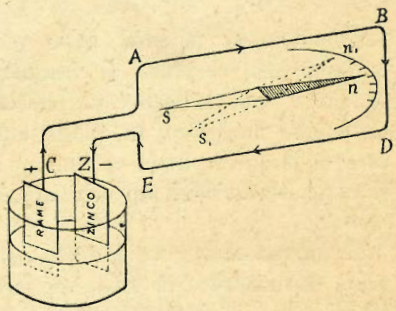



Fig. 13.

gativo, la corrente circolerà nel senso *C A B D E Z*, indicato dalla freccia, e, applicando la regola del § 7, si vede come essa tenda in tutti i tratti a far girare l'ago in maniera da spingere il polo *N* verso $N_1$. — L'azione della terra tende invece a mantenere l'ago nella posizione di prima e sotto l'azione combinata della terra e della corrente l'ago devia di un piccolo angolo e si porta, per esempio, in $N_1 S_1$. — Prepariamo ora un secondo elemento di pila identica al primo e colleghiamo lo zinco del primo (fig. 14) al rame del secondo; o come si suol dire, colleghiamoli *in serie*. — Colleghiamo poi il circuito al polo positivo (rame) della prima e al polo negativo (zinco) della seconda. Avendo raddoppiato la potenza della pila, nel circuito otteniamo una corrente di *intensità* maggiore, e vedremo l'ago deviare dal meridiano magnetico di un angolo maggiore. In questo modo possiamo apprezzare la intensità della corrente e su questo principio si costruiscono degli appositi apparecchi detti *galvanometri*.

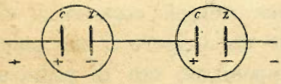


Fig. 14.

Il galvanometro va inserito nel circuito della corrente da misurare in modo che faccia parte del circuito stesso ed è indifferente che sia inserito in un punto piuttosto che in un altro, perchè la corrente *è la stessa in tutti i punti del circuito.*

Invece che una sola, il conduttore fa un gran numero di spire intorno all'ago e finisce a due morsetti o sersafili, per i quali si manda la corrente da misurare e sotto l'ago è tracciato un cerchio diviso per valutare le deviazioni (fig. 15). Molte volte invece che un solo ago magnetico se ne usano due collegati insieme coi poli invertiti (figura 16) e di cui uno viene a rimanere dentro alla spirale formata dal conduttore, l'altro superiormente.

Fig. 15.

In questo caso il galvanometro è più sensibile e dicesi *astatico*.

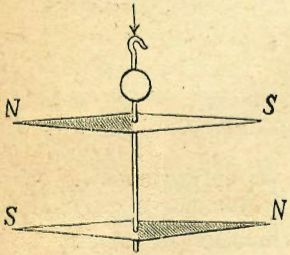


Fig. 16.

Il galvanometro che abbiamo descritto deve essere orientato prima di lanciarvi la corrente, ossia deve esser posto in modo che l'ago rimanga parallelo alle spire. Ciò può essere incomodo molte volte e perciò si fanno dei galvanometri nei quali la *forza direttrice* invece che esser data dalla terra è data da una calamita.

È stato adottato come unità di misura della corrente

una certa intensità detta *amper* e, molte volte, i galvanometri hanno il cerchio graduato, invece che in gradi, direttamente in amper. Allora in corrispondenza alla posizione che assume l'ago, si trova scritto sul quadrante l'intensità della corrente che circola nella spirale e in questo caso l'istrumento si chiama *amperometro*. Se l'amperometro è destinato a misurare delle correnti forti, il filo conduttore è molto grosso e fa poche spire intorno all'ago.

11. — Facciamo ora questa esperienza. Prendiamo un elemento di pila (fig. 17) e colleghiamo uno dei suoi

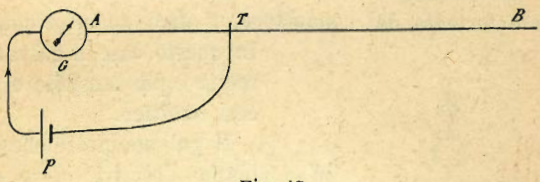



Fig. 17

poli con uno dei serrafili di un galvanometro di cui l'altro serrafili va ad un lungo filo di rame *A B*. Con un conduttore flessibile *Z T* chiudiamo il circuito toccando il filo di rame teso in un punto *T*. Il galvanometro accuserà il passaggio di una certa corrente e si avrà una certa deviazione. Spostiamo ora il contatto da *A* verso *T* e vedremo la deviazione dell'ago diminuire mostrando che diminuisce la intensità della

corrente. — Dunque la corrente trova una certa resistenza a passare attraverso il conduttore e questa resistenza è tanto più grande quanto più il conduttore è lungo.

Ripetiamo l'esperienza in quest'altro modo (fig. 18). Il circuito che racchiude la pila e il galvanometro facciamolo terminare a due serrafili *A B*, e chiudiamo il circuito fra i serrafili *A B* con un filo di rame di una data lunghezza e di una data sezione. Otterremo una certa deviazione al galvanometro. — Leviamo ora il filo di prima e sostituiamo un altro filo della stessa lunghezza precisa, ma di uno spessore più piccolo; troveremo al galvanometro una deviazione minore. Sostituiamo un terzo filo sempre della stessa lunghezza, ma di spessore maggiore, avremo una deviazione maggiore. Dunque la resistenza opposta dai conduttori al passaggio della corrente non dipende solo dalla lunghezza, ma anche dalla sezione, e precisamente più piccola è la sezione più grande è la resistenza. Cosicchè se noi vorremo avere un circuito molto resistente dovremo formarlo con un filo molto lungo e sottile e se invece vorremo che il circuito offra poca resistenza, dovremo formarlo con filo molto grosso e molto corto.

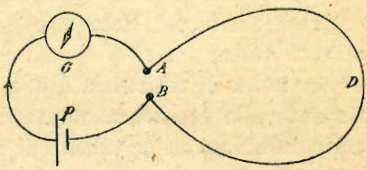


Fig. 18.

Fra i due serrafili *A B* poniamo ora dei fili tutti dello stesso diametro e della stessa lunghezza, ma di metalli diversi, e otterremo delle deviazioni diverse; il che significa che i vari metalli hanno diversa *resistenza specifica*. L'argento è il metallo più conduttore, viene in seguito il rame ricotto; i metalli crudi sono più resistenti di quelli ricotti. Il ferro è circa sei volte più resistente del rame, il nichel circa otto volte ed il bismuto circa ottanta volte.

Per unità di resistenza fu scelto l'*ohm* il quale corrisponde alla resistenza offerta da una colonna di mercurio racchiusa in un tubetto di vetro di un millimetro quadrato di sezione e lunga 106,3 millimetri. Una sbarra di un centimetro di lunghezza e di un centimetro quadrato di sezione offre una resistenza di

| | | |
|---|---|---|
| 0,00000150 | se di | argento ricotto |
| 0,00000162 | » | argento crudo |
| 153 | » | rame puro |
| 165 | » | rame commercio |
| 973 | » | ferro puro |
| 1240 | » | nichel ricotto |
| 1958 | » | piombo compresso |
| 4300-5100 | » | nicheline (Geitner). |

Questi numeri non esprimono altro che le resistenze specifiche o resistività elettriche dei vari metalli. Essi valgono solo per la temperatura di 0 grado perchè la resistenza varia con la temperatura. Nei metalli in

generale cresce e si può ammettere per tutti un aumento di 4 millesimi del valore per ogni grado di temperatura.

Nelle leghe l'aumento è molto minore e in certune è affatto trascurabile. In altri corpi come nel carbone la resistenza diminuisce specialmente quando si raggiungono le elevate temperature.

Conoscendo le resistenze specifiche è facile calcolare la resistenza di un conduttore sapendo che essa in proporzione della lunghezza aumenta e in porporzione della sezione diminuisce.

Per esempio si voglia sapere la resistenza a 0° di un filo di rame del commercio di 3 millimetri di diametro e di 542 metri di lunghezza.

La sezione del detto filo è 7,07 millimetri quadrati, ossia 0,0707 centimetri quadrati. Se la resistenza di un centimetro di lunghezza è di 0,00000165 essendo un centimetro quadrato la sezione; quando la sezione è 0,0707 la resistenza di un centimetro di lunghezza diventa

$$0{,}00000165 : 0{,}0707 = 0{,}0000233.$$

Ma il conduttore di cui noi vogliamo la resistenza è lungo 542 metri, ossia 54200 centimentri. Dovremo quindi moltiplicare la resistenza di un centimetro per il numero dei centimetri. Avremo

$$(0{,}00000165 : 0{,}0707) \times 54200 =$$
$$0{,}0000233 \times 54200 = 12{,}63 \text{ ohm}.$$

In generale bisogna *moltiplicare la resistività elettrica per la lunghezza espressa in centimetri e dividere per la sezione espressa in centimetri quadrati.*

La resistenza trovata è quella corrispondente alla temperatura di 0 gradi. Volendo quella ad un' altra temperatura bisognerà aumentare di quattro centesimi il valore trovato per ogni grado; ossia l' aumento da darsi al valore trovato si ottiene moltiplicandolo per 0,04 e per il numero dei gradi. Per la temperatura di 15°; l' aumento sarà

$$12{,}63 \times 0{,}04 \times 15 = 0{,}76 \text{ ohm}$$

e quindi il valore della resistenza a quella temperatura è

$$12{,}63 + 0{,}76 = 13{,}39 \text{ ohm.}$$

Cerchiamo ancora la resistenza a 15° di un filo di ferro di 4 $^{m}/_{m}$ di diametro, e di 827 metri di lunghezza. Alla temperatura di 0° la resistenza è

$$\frac{0{,}00000973 \times 82700}{0{,}126} = 6{,}38 \text{ ohm.}$$

L' aumento per la temperatura è

$$6{,}38 \times 0{,}04 \times 15 = 0{,}64 \text{ ohm.}$$

E quindi la resistenza cercata

$$6{,}38 + 0{,}64 = 7{,}02 \text{ ohm.}$$

Si fanno delle leghe come l'argentana e la nichelina, che servono appositamente a formare delle *resistenze* o *reostati*, i quali sono degli apparecchi destinati ad aumentare o diminuire gradatamente la resistenza di un circuito. Ve ne sono di molte forme, ma la più comune è quella schematicamente rappresentata dalla fig. 19. Una serie di blocchetti metallici sono disposti circolarmente intorno al centro *C*, fissati su di una base isolante. Il primo dei blocchetti è isolato, ma gli altri sono fra di loro collegati da spirali di argentana o di altro metallo. Un manubrio con asta metallica e manico isolante, girevole intorno al perno *C*, può appoggiare con forza su l'uno o sull'altro dei blocchetti; il circuito fa capo al perno *C* che è in comunicazione metallica col manubrio, e all'ultimo blocco.

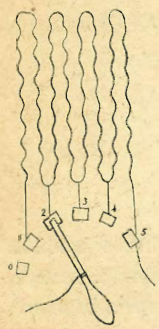


Fig 19.

Se il manubrio è sul blocco *O* evidentemente il circuito è interrotto; se è in *1* la corrente deve percorrere tutte le spirali e quindi la massima resistenza è inserita in circuito; se è in *2* sono inserite tre spirali, se in *3*, due spirali; se in *5* la corrente passa direttamente ossia non è inserita nessuna resistenza.

Conduce la corrente, benchè più imperfettamente che i metalli, l'acqua se non è purissima; conducono in

conseguenza i legni umidi, la carta umida, la terra umida; anzi, per la proprietà di condurre la corrente, ci si serve spesso della terra come di un gran conduttore.

Suppongasi di voler trasmettere in *B* la corrente data da una pila che trovasi in *A*, fig. 20; non servendoci

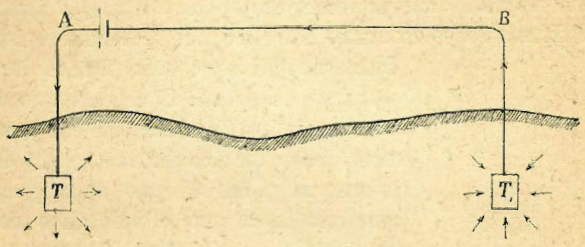



Fig. 20

della terra sarebbero necessarie due linee, una d' andata e una di ritorno, per poter chiudere il circuito. Invece in *A* si mette un polo della pila in comunicazione col terreno umido mediante una piastra di rame, e in *B* si fa lo stesso per l'altra estremità del circuito, cosicchè il circuito è chiuso da un immenso conduttore, nel quale la corrente va da una piastra all' altra seguendo mille vie diverse. È però indispensabile che le due piastre si trovino nel terreno umido, e perciò generalmente si seppelliscono a qualche metro di profondità e si circondano di carbone che è buon conduttore e per sua

natura, si mantiene sempre umidiccio. Meglio è poi se le due piastre si possono tenere tutte due immerse nel mare.

L'acqua purissima è molto resistente e sono pure molto resistenti l'olio, la resina, l'ebanite, i legni e le fibre ben secche, il vetro e la porcellana, il cotone, la seta ecc.

Quando si deve sistemare un circuito, per impedire dispersioni di corrente, bisogna evitare che il conduttore vada in contatto con dei corpi conduttori e perciò bisogna lungo tutto il suo percorso *isolarlo* da questi corpi. — Ciò si ottiene frapponendo dei corpi poco conduttori che sono perciò detti isolanti. — Per questo i fili di rame destinati a portar la corrente si fasciano o di sostanze tessili o di gomma, o di guttaperca o, se nudi, si appoggiano su campane o rotelle di porcellana, dette *isolatori*.

12. — La proprietà che ha una pila di mantener in attività la corrente in un circuito collegato ai suoi poli dicesi la *forza elettromotrice* della pila. Le pile hanno forza elettromotrice differente ed è necessario trovare il modo di misurarla ed esprimerla in numeri.

La stessa definizione di forza elettromotrice ci dice che ne avremo la misura dalla intensità della corrente che essa produce in un determinato circuito. Sieno per esempio da confrontare i tre elementi di pila *C Z*,

$C_1 Z_1, C_2 Z_2$ (fig. 21); formiamo un circuito $A\ B$ che comprenda un galvanometro $G$ e mettiamo gli estremi $AB$ in comunicazione prima coi poli della $CZ$ e poi con quelli della $C_1 Z_1$, quindi con quelli della $C_2 Z_2$; se i tre elementi sono fra loro diversi, il galvanometro ci indicherà nei tre casi tre intensità diverse e noi potremo dire che le forze elettromotrici dei tre elementi stanno fra di loro come queste intensità, ossia che ha forza elettromotrice maggiore quello che ha dato un' intensità maggiore e ha forza elettromotrice minore quello che ha dato intensità minore. — Senonchè per far queste misure è necessario che le pile non vengano scaricate o non si polarizzino e quindi il circuito del galvanometro deve avere una grandissima resistenza. Questa resistenza si ottiene costruendo i galvanometri che devono servire alla misura delle forze elettromotrici con un grandissimo numero di spire di filo molto sottile e, spesso, si impiega anche l' argentana o la nichelina invece del rame; ma per il resto della costruzione essi non differiscono dai galvanometri e amperometri.

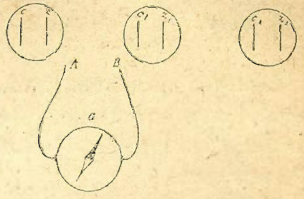


Fig. 21

L' unità di forza elettromotrice è il *volt* che corrisponde sensibilmente alla forza elettromotrice d' un elemento Daniell (§ 8). L' elemento Leclanché ha la forza elettromotrice di 1,43 volt e gli accumulatori

2,05 quando sono carichi e 1,85 quando sono scarichi.

— Supponiamo ora di avere un certo numero di elementi Daniell disposto in serie (fig. 22) e che il galvanometro $G$ sia costruito per la misura delle forze elettromotrici, cioè sia di grandissima resistenza. Mettiamo uno dei serrafili del galvanometro in comunicazione col polo libero del primo elemento della serie e coll' estremo $A$ del filo, in comunicazione con l' altro serrafili $P_1$ del galvanometro tocchiamo l' altro polo del primo elemento. Il galvanometro, indicherà una deviazione corrispondente alla forza elettromotrice d' un volt. In corrispondenza alla posizione che assume l' ago facciamo un segno sul quadrante dell' istrumento e marchiamo a fianco *1 volt.* — Portiamo poi l' estremo $A$ in corrispondenza al polo $Z$ del secondo elemento, il galvanometro indicherà un' intensità di corrente doppia di quella che indicava con un solo elemento, dal che deduciamo che la forza elettromotrice di due elementi uguali disposti in serie è doppia di quella di un solo elemento, ossia che le forze elettromotrici degli elementi disposti in serie si sommano, e poichè gli elementi sono Daniell e quindi ognuno ha la forza elettromotrice di un volt, in corrispondenza alla nuova posizione assunta dall' ago del galvanometro faremo un nuovo segno che distingueremo con l' indicazione

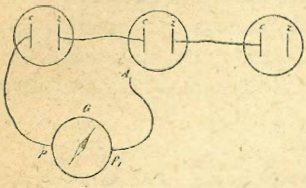


Fig. 22

di *2 volt*. Ripetendo l'operazione con tre, quattro ecc. elementi, avremo l'istrumento graduato in volt e basterà mettere i suoi serrafili in comunicazione con una pila o con un'altra sorgente di elettricità, per conoscere tosto la forza elettromotrice di quella sorgente espressa in volt. -- Un galvanometro così fatto cioè di grandissima resistenza e graduato in volt, chiamasi *voltmetro*.

13. — Vediamo ora che cosa succede della forza elettromotrice in un circuito chiuso.

Ai poli di un elemento di pila (fig. 23), che supponiamo a depolarizzante e quindi atto a mantener costante la corrente, attac-

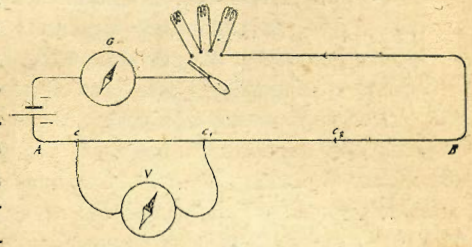



Fig. 23

chiamo un circuito formato di un reostato, di un amperometro *G* e di un lungo filo teso *A B* di diametro costante. Variando al reostato il numero delle spirali attraversate dalla corrente (§ 11), si viene a variare la resistenza di tutto il circuito ed in conseguenza a variare l'intensità di corrente, la quale è indicata dall'amperometro *G*. Mettiamo i serrafili di un voltmetro *V* in comunicazione con due punti $C$ $C_1$

del filo teso $A$ $B$ percorso dalla corrente; otteniamo una certa deviazione, la quale ci indica quale parte della forza elettromotrice della pila va impiegata a mandar la corrente dal punto $C$ al punto $C_1$, vincendo la resistenza compresa fra questi due punti. Il numero di volt che il voltmetro indica si chiama la *tensione* o *la differenza di potenziale* fra i due punti $C$ e $C_1$ o anche *caduta* o *perdita* di potenziale.

Se mettiamo i serrafili del voltmetro in comunicazione invece che coi punti $C$ $C_1$, con altri due fra loro più lontani, come sarebbero $C$ e $C_2$, troveremo che, rimanendo costante l' intensità di corrente, la differenza di potenziale fra questi due punti è maggiore che fra $C C_1$; ma anche la resistenza del tratto di filo compreso fra $C C_2$ è più grande che quella compresa fra $C$ e $C_1$, dunque possiamo dire che la differenza di potenziale fra due punti di un circuito è tanto più grande quanto più grande è la resistenza della parte di circuito compresa fra i detti due punti.

Teniamo ora fissi gli attacchi del voltmetro, per esempio; ai punti $C C_1$ e, mediante il reostato facciamo variare l' intensità della corrente che circola nel circuito e quindi anche nel tratto compreso fra i due punti. Osserveremo che se si fa aumemtare l' intensità, aumenta anche la differenza di potenziale indicata dal voltmetro; se si fa diminuire l' intensità della corrente, diminuisce anche la differenza di potenziale fra i due punti $C$ e $C_1$.

Dunque la differenza di potenziale fra due punti di

un circuito dipende non solo dalla resistenza del tratto di circuito compreso fra i due punti, ma ancora dall'intensità della corrente, anzi la legge di Ohm, la più importante di tutta l'elettrotecnica, dice che:

*La differeuza di potenziale fra due punti di un circuito espressa in volt, è uguale all'intensità della corrente che circola nel circuito espressa in amper moltiplicata per la resistenza del tratto di circuito compreso fra quei due punti espressa in ohm.*

Per chiarire con un esempio supponiamo che nel circuito della fig. 23 l'intensità sia di 0,3 amper, che la resistenza del tratto di circuito compreso fra i due punti $CC_1$ sia di 0,5 ohm.; col voltmetro troveremo che fra i detti due punti esisterà una differenza di potenziale di $0,3 \times 0,5 = 0,15$ volt.

Mediante il reostato facciamo variare l'intensità di corrente e portiamola a 1,3 amp.; troveremo una differenza di potenziate di $1,3 \times 0,5 = 0,65$ volt.

Se invece mettiamo il voltmetro fra $C\ C_2$ e supponiamo che la resistenza fra questi due punti sia di 0,75 ohm, se l'intensità è sempre di 0,3 amp., troveremo una differenza di potenziale di $0,75 \times 0,3 = 0,225$, e se l'intensità è di amp. 1,3 troveremo una differenza di potenziale di $1,3 \times 0,75 = 0,975$ volt.

Se poi si misura, lasciando sempre il circuito chiuso, la differenza di potenziale fra i poli della pila, parrebbe, a prima vista, di dover trovare un valore eguale alla forza elettromotrice, mentre invece si trova sempre un valore differente, e la differenza fra la indica-

zione del voltmetro a circuito aperto (forza elettromotrice) e a circuito chiuso (differenza di potenziale ai poli) è dovuta alla resistenza interna della pila. La corrente per passare attraverso i liquidi, i vasi porosi ecc., che compongono la pila, incontra una certa resistenza, a cui corrisponde, come per il circuito esterno, una certa perdita di potenziale. — Se la pila non avesse nessuna resistenza interna, il voltmetro darebbe la stessa indicazione, sia a circuito chiuso che a circuito aperto, o in altre parole, la differenza di potenziale ai serrafili sarebbe eguale alla forza elettromotrice della pila stessa.

Possiamo dunque applicare la legge di Ohm a tutto il circuito compreso l' interno del generatore e dire che: *la forza elettromotrice di una pila o di un generatore elettrico qualunque, è uguale al prodotto dell' intensità della corrente per la resistenza di tutto il circuito compresa quella della pila o del generatore.*

La legge di Ohm, può osser enunciata, oltre che nei due modi già detti, in altri modi ancora partendo dall' intensità o dalla resistenza. Li riassumiamo tutti nella tabella qui appresso:

| | | |
|---|---|---|
| 1. La forza elettromotrice è uguale all' intensità di corrente moltiplicata per la resistenza di tutto il circuito compresa quella del generatore. | 2. L' intensità di corrente è uguale alla forza elettromotrice divisa per la resistenza di tutto il circuito compresa quella del generatore. | 3. La resistenza complessiva (compreso il generatore) di un circuito è eguale alla forza elettromotrice divisa per l' intensità di corrente. |

4. La differenza di potenziale fra due punti di un circuito è uguale alla intensità di corrente moltiplicata per la resistenza del tratto di circuito compreso fra i due punti.

5. L'intensità di corrente è uguale alla differenza di potenziale fra due punti del circuito divisa per la resistenza del tratto di circuito fra questi due punti compreso.

6. La resistenza di un tratto di circuito è uguale alla differenza di potenziale ai suoi estremi, divisa per l'intensità di corrente.

Consideriamo qualche esempio che possa far vedere l'importanza della legge di Ohm.

1. — Abbiamo sei elementi di pila disposti in serie, i quali hanno, ciascuno, una forza elettromotrice di 1,4 volt e una resistenza interna di 0,5 ohm. Il circuito esterno è formato di un conduttore, la cui resistenza è di ohm 2,4. Quale sarà l'intensita di corrente allorchè si chiuderà il circuito?

La forza elettromotrice complessiva è di $1,4 \times 6 =$ $= 8,4$ volt perchè la pila è formata di sei elementi messi in serie. La resistenza interna della pila è di $0,5 \times 6 = 3$ ohm. Sicchè la resistenza di tutto il circuito è costituita da: resistenza della pila 3 ohm $+$ resistenza esterna 2,40 ohm $= 5,40$ ohm.

Applicando il secondo enunciato della legge di Ohm si ricava che l'intensità di corrente sarà di:

$$8,4 \text{ volt} : 5,40 \text{ ohm} = 1,55 \text{ amp.}$$

Dunque chiudendo il circuito avremo una corrente dell'intensità di 1,55 amper.

2. — In un circuito circola una corrente che sappiamo essere di 50 amp. — Fra due punti di questo

circuito abbiamo trovato col voltmetro una differenza di potenziale di 15 volt. Quale è la resistenza del tratto di circuito compreso fra quei due punti?

Applicando il sesto enunciato dalla legge di Ohm abbiamo direttamente che la cercata resistenza è:

$$15 \text{ volt} : 50 \text{ amp.} = 0{,}3 \text{ ohm.}$$

14. — È ora necessario di ben precisare cosa deve intendersi per disposizione in serie e per disposizione in derivazione o in parallelo.

Due o più apparecchi si dicono disposti fra loro *in serie* quando sono messi di seguito l' uno all' altro nello stesso circuito in modo che la stessa corrente li attraversa tutti, come è schematicamente rappresentato dalla fig. 24.

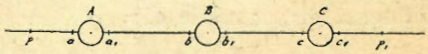


Fig. 24

La resistenza complessiva di più apparecchi o conduttori messi in serie, evidentemente, è la somma delle resistenze dei singoli apparecchi o conduttori; così, fissandoci sulla disposizione schematica della fig. 24, dove $A\ B\ C$ sono tre apparecchi di resistenza diversa (potrebbero essere tre lampade, tre spolette o altro), la resistenza complessiva fra i due punti $P$ e $P_1$ è uguale alla somma delle tre resistenze dei tre apparecchi, più quella dei conduttori $P\,a$, $a_1 b$, $b_1 c$, $c_1 P_1$ che servono a collegare i tre apparecchi.

Poichè è la stessa corrente che passa attraverso a tutti gli apparecchi o, in altre parole, la corrente ha

la stessa intensità di tutti i punti del circuito, la differenza di potenziale agli estremi di ogni apparecchio sarà, per la legge di Ohm, diversa secondo la resistenza offerta dall'apparecchio stesso. — Supponiamo che *A* sia un apparecchio di 2,5 ohm di resistenza, che *B* sia una resistenza di fili di argentana di 12 ohm di resistenza e che *C* sia un' altra resistenza qualunque di 4 ohm. — L' intensità della corrente sia per esempio di 0,75 amp.; allora ai capi $a a_1$ della prima resistenza, applicando il quarto enunciato della legge di Ohm, avremo una differenza di potenziale di:

$$\text{ohm } 2{,}5 \times 0{,}75 \text{ amp.} = \text{volt. } 1{,}875$$

Agli estremi $b b_1$ della resistenza *B*, siccome l' intensità di corrente è sempre 0,75 amp., avremo una differenza di potenziale di:

$$12 \times 0{,}75 = 9 \text{ volt.}$$

e finalmente ai capi $c c_1$ di *C* dovremo trovare una differenza potenziale di:

$$4 \times 0{,}75 = 3 \text{ volt.}$$

Dunque: *Quando molti apparecchi o conduttori sono disposti in serie in un circuito elettrico, essi sono tutti attraversati dalla stessa corrente e la differenza di potenziale agli estremi di ciascun apparecchio è diversa da apparecchio ad apparecchio ed è più grande in quelli apparecchi di cui la resistenza è maggiore.* La resistenza complessiva è la somma di tutte le resistenze dei singoli apparecchi e conduttori.

Si dicono invece disposti in *derivazione* o in *parallelo* due o più circuiti o apparecchi quando partono tutti da un medesimo punto, e si riuniscono tutti in un medesimo punto in maniera che la differenza di potenziale agli estremi sia per tutti la stessa.

Consideriamo il caso di un circuito $P\,A\,C\,D\,B\,Q$ (fig. 25) che in $A$ si divide in due rami che si riuniscono nuovamente nel punto $B$. I due rami $A\,C\,D$ e $A\,B\,D$ si chiamano rami o circuiti *derivati* o in *parallelo*, mentre i tratti $P\,A$, $B\,Q$ sono tratti del circuito *principale*. La corrente in $A$ si divide nei due derivati, però non passa egualmente dalle due vie, ma se esse hanno resistenza diversa, affluisce in maggior copia per quella meno resistente. Cosicchè nei due circuiti derivati si hanno due intensità di corrente diverse (la cui somma però dovrà esser uguale alla intensità della corrente che circola nel circuito principale), ma la differenza di potenziale agli estremi è la stessa per tutti e due perchè è quella che esiste fre i due punti $A, B$. Se si conoscono le resistenze dei due rami derivati, si può, mediante la legge di Ohm, ricavare la intensità in ciancuno d' essi.

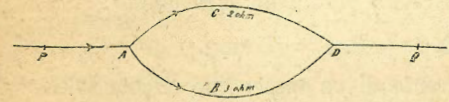


Fig. 25.

Per esempio, supponiamo che la resistenza del ramo derivato $A\,C\,B$ sia di 2 ohm e quella del ramo $A\,B\,D$ sia di 3 ohm; supponiamo ancora che la differenza di

potenziale fra i due punti $A$ e $B$ sia di 1,2 volt. Per il quinto enunciato della legge di Ohm, l'intensità di corrente nel ramo derivato $A\,C\,B$ sarà:

$$1,2 \text{ volt} : 2 \text{ ohm} = 0,6 \text{ amp.}$$

e nel ramo $A\,B\,D$:

$$1,2 \text{ volt} : 3 \text{ ohm} = 0,4 \text{ amp.}$$

L'intensità nel circuito principale sarà quindi:

$$0,6 + 0,4 = 1 \text{ amp.}$$

Dunque la corrente di un amper che circola nel circuito principale, si divide in $A$ in due parti; 0,6 amp. passano per il ramo $A\,C\,B$ che ha 2 ohm di resistenza e 0,4 amp. passano per il ramo $A\,D\,B$, che ha 3 ohm di resistenza; ossia ne passa una parte maggiore per il circuito derivato meno resistente,

La corrente per passare dal punto $A$ al punto $B$ incontra una resistenza che non è nè quella di un circuito derivato, nè quella dell'altro, ma bensì dipende dalla resistenza di tutti due questi circuiti. La legge di Ohm ci serve a determinare quale essa sia. — L'intensità totale che attraversa l'insieme dei due circuiti, come si disse, è di 1 amp.; la differenza di potenziale fra i due punti $A\,B$ è di 1,2 volt; dunque per il sesto enunciato della legge di Ohm la resistenza del tratto di circuito compreso fra $A$ e $B$ è di:

$$1,2 : 1 = 1,2 \text{ ohm},$$

ossia essa è minore di quella tanto dell'uno come

dell' altro circuito derivato. Se le resistenze dei due circuiti derivati fossero eguali, la resistenza complessiva sarebbe metà di quella di uno dei circuiti; poniamo per esempio, che ognuno dei due circuiti abbia la resistenza di 3 ohm e che la differenza di potenziale fra i punti $A$ e $B$ sia di 1,2 volt. — L' intensità di corrente in ciascun ramo è di $1,2 : 3 = 0,4$ amp. e quindi la corrente totale che pàssa da $A$ a $B$ è di $0,4 \times 2 = 0,8$ amp. Perciò la resistenza complessiva sarà di $1,2 : 0,8 = 1,5$ ossia la metà della resistenza di uno dei circuiti derivati.

I circuiti derivati possono essere molti come è indicato nella fig. 26; la differenza di potenziale ai loro estremi sarà per tutti la stessa e precisamente quella esistente fra i dui punti $A$ e $B$; la intensità di corrente in uno dei rami sarà eguale alla differenza di potenziale fra i punti $A$ e $B$ divisa per la resistenza di quel ramo e quindi sarà maggiore nei circuiti meno resistenti che in quelli più resistenti.

Fig. 26.

La resistenza complessiva si ottiene dividendo la differenza di potenziale fra i punti $A$ e $B$ per l'intensità totale, ossia per la somma delle intensità ed è minore di quella di uno qualunque dei circuiti derivati. — Si può poi facilmente verificare che, se tutti i circuiti derivati hanno egual resistenza, la resistenza comples-

siva è uguale a quella di un circuito, divisa per il numero dei circuiti. Dunque.

*Se due o più apparecchi o circuiti sono disposti in parallelo, la differenza di potenziale agli estremi è la stessa per tutti, l' intensità di corrente è diversa se hanno resistenze diverse ed è maggiore per quelli di minor resistenza; la resistenza complessiva è minore di quella di uno qualunque dei circuiti derivati.*

*Se i circuiti derivati hanno tutti uguale resistenza, la resistenza complessiva è quella di un solo circuito divisa per il numero dei circuiti.*

Quando si adopera il voltmetro per misurare una differenza di potenziale come è indicato nella fig. 23, il voltmetro diventa un circuito derivato, però, siccome esso deve avere una resistenza molto grande, così è piccolissima l' intensità di corrente che passa per esso in confronto a quella che passa per l' altro circuito; è tanto piccola che può essere, nella maggior parte dei casi, trascurata e si può supporre che per il voltmetro non passi corrente.

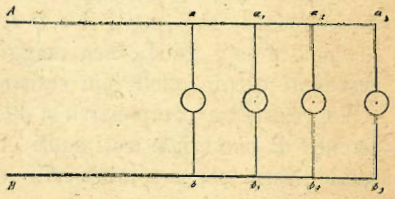


Fig. 27.

Alcune volte i circuiti derivati sono disposti come è indicato nella fig. 27, cioè due conduttori $A A_1$ e $BB_1$ sono collegati ai due poli del generatore e a questi due conduttori principali, sono at-

taccati a distanze diverse dal generatore le varie derivazioni. — Nei tratti di conduttore principale $A\,a$ e $B\,b$ passa la somma di tutte le correnti che attraversano le varie derivazioni; nei tratti $aa_1$ e $bb_1$ non passa la corrente che attraversa la derivazione $a\,b$; nei tratti $a_1a_2$ e $b_1b_2$ non passa la corrente che attraversa le due derivazioni $a\,b$ e $a_1\,b_1$; cosicchè nei conduttori principali l'intensità di corrente va gradatamente diminuendo coll'allontanarsi dal generatore e perciò può andar diminuendo la sezione del conduttore. Però i conduttori $aa_1a_2$—$bb_1b_2$ in generale sono così grossi che offrono poca resistenza in confronto ai rami derivati e quindi si può grossolanamente ammettere che tutti i circuiti derivati abbiano la stessa differenza di potenziale agli estremi.

Questa disposizione è quella usata nei circuiti di illuminazione con lampade a incandescenza. — Le lampade sono messe in derivazione fra due conduttori, collegati al generatore (dinamo), che costituiscono i *conduttori principali* della rete.

Anche i generatori possono esser disposti in serie o in parallelo. Riunire più elementi di pila in serie significa collegare il polo negativo del primo elemento al positivo del secondo; il negativo di questo al positivo del terzo come è schematicamente rappresentato nella fig. 28. È questa la disposizione che ordinariamente si dà alla pila per i campanelli, i telegrafi o altro. Riunire più elementi in derivazione o in parallelo

Fig. 28.

significa collegare fra loro tutti i poli positivi e tutti i negativi, come è indicato della figura 29.

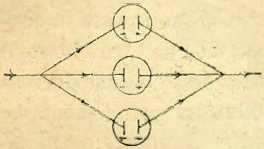


Fig. 29.

Nella disposizione in serie la *f. e. m.* è la somma di tutte le *f. e. m.* dei vari elementi e la resistenza complessiva è la somma di tutte le resistenze dei vari elementi, cosicchè, se tutti gli elementi sono fra loro eguali, la *f. e. m.* totale è quella di un elemento moltiplicato per il numero degli elementi e la resistenza pure è quella di un elemento moltiplicata per il numero degli elementi. Una pila di sei elementi di pila di cui la *f. e. m.* sia di 1,4 volt e la resistenza 0,5 ohm, avrà un *f. e. m.* complessiva di $1,4 \times 6 = 8,04$ volt e una resistenza interna di $0,5 \times 6 = 3$ ohm.

Se invece gli elementi sono disposti in parallelo. la *f. e. m.* rimaue la stessa come se si avesse un elemento solo, ma la resistenza diventa tanto più piccola quanto è più grande il numero degli elementi. Sei elementi di pila disposti in parallelo, presenterebbero un *f.e.m.* di 1,4 volt; una resistenza di $0,5 : 6 = 0,083$ ohm.

Continuando l'esempio dei sei elementi di pila, vogliamo renderci conto dei differenti effetti che si possono ottenere con le due disposizioni. Congiungiamo i poli della pila disposta in serie con un conduttore corto e grosso, tale da non presentare sensibile resistenza o, come si suol dire, *chiudiamo la pila in corto*

*circuito.* L'intensità di corrente che così otterremo, evidentemente sarà la massima che la pila possa dare e noi, con la scorta della legge di Ohm, applicando il primo enunciato, possiamo vedere quale sia questa intensità. La *f. e. m.* è, come si disse, 8,4 volt; la resistenza, non essendovi che quella della pila, è 3 ohm, per cui l'intensità sarà 8,4 : 3 = 2,8 amp.

Ripetiamo le stesse operazioni con la pila disposta in parallelo. La *f. e. m.*, come si disse, è quella di un solo elemento ossia 1,4 volt; la resistenza è quella di un elemento divisa per il numero degli elementi, ossia 1,4 : 6 = 0,083 ohm, quindi avremo un'intensità 1,4 : 0,083 = 16,8 amp.; ossia si può ottenere un'intensità molto più forte che nel caso precedente.

Rifaciamo gli stessi calcoli supponendo ora che il circuito esterno abbia una certa resistenza, per esempio 5 ohm.

Se gli elementi della pila sono in serie, la forza elettrometrice è 8,4 volt, la resistenza interna 3 ohm; la resistenza complessiva del circuito è 5 + 3 = 8 ohm e quindi, per la legge di Ohm, si avrà una corrente di 8,4 : 8 = 1,05 amp. di intensità.

Se gli elementi della pila sono in derivazione, la forza elettromotrice è 1,4 volt; la resistenza interna 0,083 ohm; la resistenza complessiva di tutto il circuito è 5 + 0,083 = 5,083 ohm e quindi si avrà una corrente di 1,4 : 5,083 = 0,27 amp.

In questo caso conviene più la disposizione in serie. Dunque conviene la disposizione in serie, quando il

circuito esterno presenta una certa resistenza; quella in parallelo quando la resistenza del circuito esterno è piccolissima.

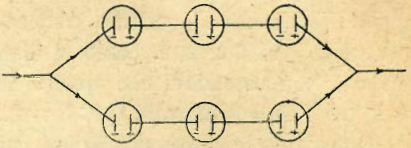


Fig. 30.

Abbiamo considerato le disposizioni più semplici, ma se ne possono formare infinite altre più complesse; si possono, per esempio, formare dei gruppi di elementi in serie e riunire poi i gruppi in parallelo, fig. 30; oppure si possono disporre gli elementi in parallelo e i gruppi in serie, fig. 31. Consideriamo solo il caso di due gruppi di tre elementi in serie, disposti fra loro in parallelo. La *f. e. m.* di ciascun gruppo è, per quello che abbiamo detto, $1,4 \times 3 = 4,2$ volt e la resistenza in $0,5 \times 3 = 1,5$ ohm. Quando i due gruppi sono disposti in parallelo, la *f. e. m.* resta la stessa ossia 4,2 volt; la resistenza diventa la metà ossia $1,5 : 2 = 0,75$ ohm.

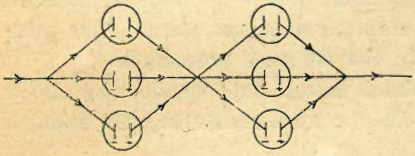


Fig. 31.

Negli usi pratici si usa quasi esclusivamente la disposizione in serie; solo in qualche caso eccezionale si ricorre a quelle in parallelo o a quelle a gruppi.

## CAPITOLO IV.

15. — Abbiamo visto che un conduttore percorso da corrente determina un campo magnetico, in cui le linee di forza o di induzione sono dei circoli col centro sul conduttore e che hanno la direzione delle lancette di un orologio per un individuo che, tenendo l'occhio sul conduttore, guardi nel senso della corrente. Se pieghiamo il conduttore in circolo, com'è rappresentato dalla fig. 32, si vede evidentemente come tutte le linee di forza di tutti i punti del conduttore passino tutte per l'interno del circolo, in maniera che tutto il conduttore concorre a rinforzare il campo magnetico nell'interno della spira.

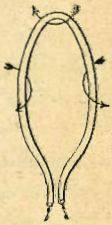


Fig. 32.

Le linee di forza entrano tutte dall'una delle faccie della spira, per cui, ricordando la definizione che si è data al § 4 di polarità, quella faccia presenta la polarità Sud e, in conseguenza, l'altra faccia da cui le linee escono, presenta la polarità Nord. Un conduttore, dunque, piegato a spira si comporta come se fosse un *foglietto* di sostanza magnetica magnetizzata nel senso del suo spessore.

La polarità di questo foglietto dipende naturalmente dal senso della corrente, perchè dal senso della corrente dipende (§ 7) la direzione delle linee di forza che circondano il conduttore; invertendo la corrente la polarità si inverte, ossia la faccia che presentava polarità Nord presenta quella Sud e viceversa.

Se si conosce la direzione della corrente è facile riconoscere la polarità delle due faccie; basta porre sul conduttore il dito indice della mano destra in maniera che esso indichi la direzione della corrente e allora la faccia Nord è quella che resta dalla parte del dito pollice.

Qualora con uno stesso conduttore si formino due spire (fig. 33) in maniera che restino parallele l'una all'altra e con le facce di polarità contrarie affacciate, avverrà l'induzione come nel caso di due magneti (§ 5) e le linee di forza uscenti dalle faccie Nord di una delle spire entreranno per la faccia Sud dell'altra spira. Se poi si forma un *salenoide*, ossia una spirale con le spire parallele e vicine l'una all'altra come è indicato nella figura 34, tutte le spire si influenzeranno l'una con l'altra e le linee di induzione prenderanno l'andamento

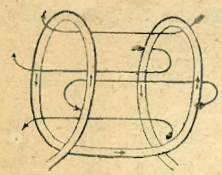


Fig. 33.

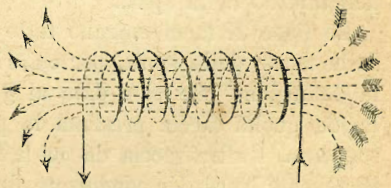


Fig. 34.

indicato nella figura richiudendosi però all'esterno su se stesse perchè, come abbiamo detto, le linee di induzione sono delle linee chiuse. Un conduttore avvolto a spirale e percorso da corrente genera, dunque, un campo magnetico diretto da un estremo all'altro della spirale e quindi un pezzo di ferro che si trovi là dentro, verrà magnetizzato per induzione (§ 5) nel senso dell'asse della spirale stessa. Abbiamo così formato un' *elettrocalamita* (fig. 35). — La *spirale inducente* si avvolge generalmente su di un cilindro cavo o di legno o di leggero lamierino d'ottone dentro al quale passa il *nucleo* di ferro. — Il filo conduttore viene avvolto a molte spire e a molti strati e, perchè le varie spire restino fra di loro isolate, esso è rivestito di sostanze tessili; cotone, lino, seta o tela secondo i casi.

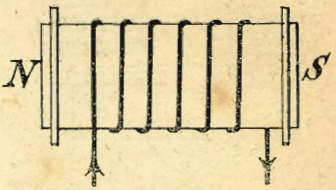


Fig. 35.

È spesso utile riconoscere come saranno disposti i poli dell'elettrocalamita ossia quale sarà l'andamento delle linee d'induzione, quando si lancerà la corrente nella spirale magnetizzante in una data direzione; la regola più semplice è di appoggiare la mano destra sul rocchetto in modo che le dita indichino la direzione della corrente. — Il polo Nord sarà dalla parte del dito pollice; le linee d'induzione nell'interno andranno dal mignolo verso il pollice.

Le elettrocalamite hanno forma diversa secondo lo scopo a cui sono destinate; se devono provocare l'attrazione di un'ancora di ferro come nelle macchine telegrafiche, nei campanelli ecc., hanno in generale la forma di ferro di cavallo, e la spirale magnetizzante è avvolta in due parti sulle due branche (fig. 36) in modo da presentar poli contrari dalla stessa parte.

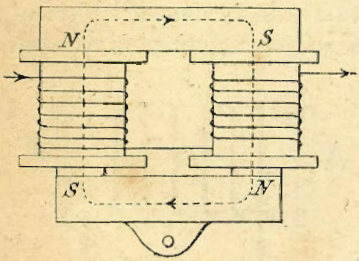


Fig. 36.

Le linee d'induzione in questo caso hanno l'andamento della linea punteggiata, ossia uscendo dalla faccia Nord dell'elettrocalamita di dritta percorrono l'ancora per entrare dalla faccia Sud dell'elettrocalamita di sinistra; escono dalla faccia Nord di queste, percorrono il *giogo* e rientrano dalla faccia Sud dell'elettrocalamita di destra. — Cosicchè se l'ancora è aderente ai nuclei, le linee d'induzione restano sempre nel ferro ed allora si dice che l'elettrocalamita è a *circuito magnetico chiuso;* intendendo per circuito magnetico il cammino che fanno le linee d'induzione per richiudersi su se stesse.

Molte volte, come nelle dinamo, l'elettrocalamita è munita di due *masse polari N S,* le quali abbracciano una cavità cilindrica dentro la quale sta un cilindro

o un anello di ferro (fig. 37). — Allora l'elettrocalamita ha lo scopo di mantenere un potente campo magnetico, o più esattamente un intenso flusso di linee d'induzione nello spazio anulare compreso fra le masse polari e l'anello, spazio che è detto *traferro* o *intraferro*. — In questo caso le linee di induzione per chiudersi su se stesse corrono per una parte del loro cammino nel ferro, per un'altra parte, nel traferro, attraverso l'aria. Il circuito magnetico è misto e poichè l'aria ha resistività magnetica molto superiore a quella del ferro, esso presenta al passaggio delle linee di induzione una resistenza magnetica o, come si suol dire, una *riluttanza*, ben più grande che se fosse tutto di ferro.

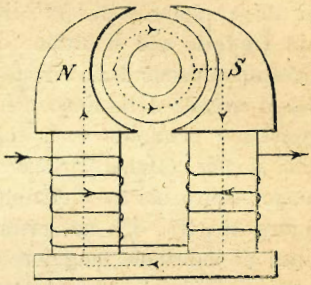


Fig. 37.

La potenza magnetizzante di una spirale, o di un avvolgimento, dipende dal numero delle spire di cui essa è formata e dalla intensità della corrente che le attraversa o, più esattamente, dal prodotto del numero delle spire per l'intensità della corrente espressa in amper; e questo prodotto chiamasi *amper spire*. Per esempio un avvolgimento di 1000 spire attraversato da una corrente di 0,5 amp., ha la stessa potenza

magnetizzante di un avvolgimento di 250 spire attraversato da una corrente di 2 amp. perchè il numero di amper-spire è di 500 nell' uno come nell' altro caso. Ma l' effetto che si ottiene da una data spirale magnetizzante dipende dalla riluttanza del circuito magnetico; più il circuito delle linee d' induzione è magneticamente resistente e minore è il flusso di linee di induzione che si può ottenere. Così con lo stesso numero di amper-spire nei tre elettromagneti rappresentati dalle figure 36, 37, 35, nel primo si avrebbe un flusso di linee di induzione maggiore che nel secondo e in questo assai maggiore che nel terzo, nel quale le linee per chiudersi su se stesse devono fare un grande percorso nell' aria dai punti di polarità nord a quelli di polarità sud.

Viene di conseguenza che volendo degli elettromagneti potenti o più esattamente parlando, dei potenti flussi di linee di induzione, bisogna render minima la resistenza del circuito magnetico facendo più breve che sia possibile il cammino delle linee di induzione, dando ai nuclei e in generale a tutte le parti in ferro delle grandi sezioni, usando del materiale molto permeabile (§ 6) e rendendo di minima lunghezza quei tratti in cui le linee devono attraversare aria, ottone o altre sostanze che hanno tutte sensibilmente la stessa permeabilità dell' aria.

Questa influenza della resistenza del circuito magnetico fa sì che la potenza di un elettromagnete non può essere indefinitamente aumentata, aumentando il numero

di amper-spire. Infatti ad ogni successivo aumento del numero di amper-spire, cresce il numero delle linee d'induzione che attraversano il ferro; ma poichè col crescere delle linee d'induzione aumenta la resistenza magnetica del ferro (§ 6) ogni successivo aumento di amper-spire trova il circuito magnetico sempre più resistente e quindi riesce sempre meno efficace. Oltre un certo limite, per quanto si aumenti e il numero delle spire e l'intensità della corrente non si ha più nessun vantaggio, il numero delle linee d'induzione rimane sensibilmente lo stesso perchè il ferro è giunto a saturazione (§ 6). Evidentemente è inutile sorpassare questo punto perchè si sprecherebbe della corrente senza ottenere nessun effetto. Giova invece impiegare del ferro dolce che, come si è visto (§ 5), ha una grande permeabilità e non si satura tanto facilmente; col ferro dolce si possono ottenere, con le stesse dimensioni, delle elettrocalamite due o tre volte più potenti che impiegando la ghisa. Se per facilità di costruzione o per economia in alcuni casi s'impiega la ghisa, bisogna in compenso dare ai nuclei delle dimensioni maggiori di quelle che dovrebbero avere se fossero in ferro. — Ora si va generalizzando l'uso di acciai speciali per dinamo, che hanno in grado eminente la proprietà del ferro dolce.

Allorchè si interrompe la corrente cessano tutti i fenomeni magnetici e perciò le elettrocalamite sono anche dette *calamite temporanee*. Però non sempre i fenomeni magnetici cessano completamente alla rottura della corrente, anzi in generale resta nell'elettro-

calamita la magnetizzazione, più o meno intensa secondo la qualità del ferro, che abbiamo chiamato (§ 6) *magnetizzazione* o *magnetismo residuo.*

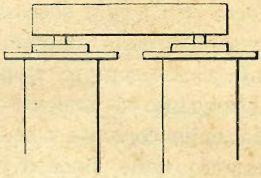


Fig. 38.

Per metterlo in evidenza possiamo impiegare la elettrocalamita della fig. 38, armarla della sua ancora e poi far passare la corrente per un certo tempo nella spirale magnetizzante; vedremo che anche dopo interrotta la corrente bisognerà esercitare un certo sforzo per poter strappar l'ancora.

In molti casi il magnetismo residuo è molto dannoso al funzionamento della elettrocalamita, come per esempio nelle macchine telegrafiche, nei campanelli elettrici, ecc. — Per diminuire l'effetto dannoso bisogna impiegare del ferro molto dolce e impedire che l'ancora vada a perfetto contatto magnetico con le espansioni polari. — Quest'ultimo scopo si ottiene munendo le espansioni polari di due bottoncini di rame o d'ottone (fig. 38) o anche semplicemente di un leggero cuscino di carta.

## CAPITOLO V.

16. — Si può mantenere la corrente in un circuito, oltrechè mediante una pila, con un altro mezzo, che è quello più usato al giorno d'oggi per ottenere delle correnti di grande intensità.

Queste correnti sono ottenute mediante il movimento di un conduttore in un campo magnetico e si distinguono, in generale, da quelle prodotte mediante le pile, chiamandole correnti d'induzione. Giova però notare che il diverso nome serve solo a distinguere il diverso modo di produrle, ma che, per gli effetti, sono perfettamente identiche le une alle altre.

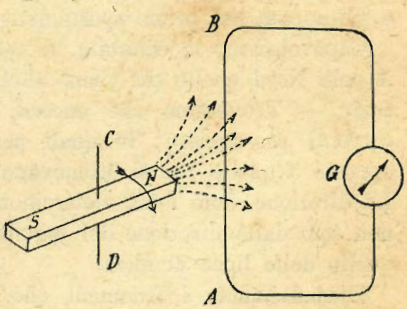


Fig. 39.

Immaginiamo un conduttore chiuso *A B* (fig. 39) che comprenda un galvanometro *G*, e spostiamo una cala-

mita *NS*, per esempio nel senso della freccia, in modo che le sue linee di forza taglino il conduttore. Vedremo il galvanometro deviare accusando il passaggio di una corrente attraverso il conduttore; corrente però che è passeggiera e cessa appena finisce lo spostamento della calamita. Nel conduttore dunque si sviluppa una forza elettromotrice istantanea, che dura finchè dura il movimento.

Spostiamo ora nuovamente la calamita, ma in senso inverso, in modo da ritornare nella posizione di prima. Il galvanometro ci indicherà nuovamente una corrente passeggiera, ma se stiamo bene attenti vedremo che l'ago del galvanometro devia dalla parte opposta a quella verso cui è deviato antecedentemente, indicando che la corrente passeggiera (e quindi la forza elettromotrice), che si è sviluppata nel secondo spostamento della calamita, ha direzione opposta a quella che si è sviluppata nel primo spostamento.

Capovolgiamo la calamita in modo che se prima era il polo Nord quello più vicino al circuito ora sia il polo Sud. — Troveremo che ancora si sviluppano delle correnti passeggiere, le quali però hanno direzione opposta a quelle che si ottenevano col polo Nord. — La direzione della forza elettromotrice dipende dunque non solo dalla direzione del movimento, ma anche da quello delle linee di forza.

Evidentemente i fenomeni che abbiamo osservato spostando la calamita, avrebbero avuto luogo se si fosse invece spostato il circuito in senso opposto, lasciando

fermo la calamita. Per cui possiamo dire che ogniqualvolta un conduttore taglia delle linee di forza magnetica, si sviluppa nel conduttore stesso una forza elettromotrice, il cui senso dipende dalla direzione del moto e da quella delle linee di forza.

Bisogna tener presente che il conduttore deve esser fatto in modo che le sne parti taglino non in egual modo le linee di forza, se no, può darsi che si sviluppino delle forze elettromotrici di senso inverso, che si neutralizzano fra loro senza dar origine a correnti. Per esempio nella figura 40, movendo il magnete nel senso della freccia, nel tratto di circuito $A\ B$ si svilupperebbe una forza elettromotrice diretta $A$ verso $B$ e nel tratto $A_1\ B_1$ una forza elettromotrice da $A_1$ verso $B^1$. Queste due forze elettromotrici sarebbero di senso contrario nel circuito e quindi il galvanometro non accuserebbe nessuna corrente.

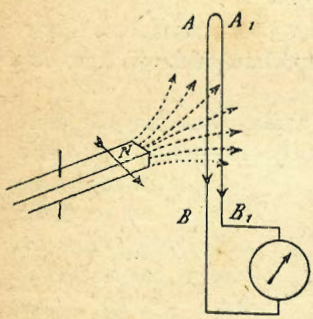


Fig. 40.

17. Consideriamo ora un anello di ferro in un campo magnetico, come quello della fig. 41. Nel traferro, ossia nello spazio compreso fra le masse polari e l'anello, il campo magnetico è assai intenso e le linee di forza sono dirette dal polo Nord al Sud; nella nostra fi-

gura da sinistra a dritta. Nello spazio dentro l'anello il campo magnetico è nullo, perchè le linee d'induzione passano tutte dentro al ferro che offre una via più permeabile.

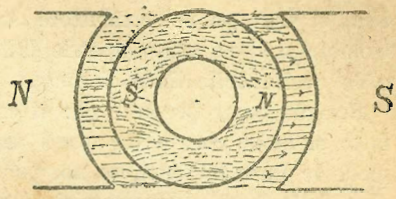


Fig. 41.

Evidentemente, se l'anello ruota, il campo magnetico resta sempre lo stesso come se tutto rimanesse fermo, giacchè le linee di forza si spostano dentro il ferro dell'anello.

Supponiamo ora che sull'anello sieno avvolte delle spire (fig. 42) di filo conduttore ricoperte di materia isolante in modo che non vi sia contatto delle varie spire fra loro e col nucleo di ferro; allora, per quanto abbiamo detto, in ogni spira si sviluppa una forza elettromotrice, perchè la parte della spira che si trova sulla parte esterna dell'anello taglia le linee di forza e quella che si trova nell'interno, no. — Però le spire che si trovano alla sinistra della linea 1-5, tagliano delle linee di forza che entrano nell'anello e quelle di dritta delle linee

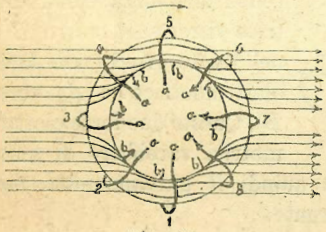


Fig. 42.

che escono; la direzione di queste linee, rispetto al moto, è dunque contraria per le due metà dell'anello e quindi anche la forza elettromotrice avrà nelle spire di dritta senso contrario che nelle spire di sinistra; nelle prime tenderà a mandar le correnti, per esempio, dagli estremi *b* agli estremi *a;* nelle seconde dagli estremi *a* a quelli *b*. Cosichè, se si riuniscono tutte le spire una dopo l'altra come è indicato nella figura 43, in modo da formare tutto un conduttore chiuso su se stesso, tutte le forze elettromotrici delle spire di sinistra si sommeranno per dar la corrente nel senso 1, 8, 7, 6, 5 e tutte le forze elettromotrici delle spire di dritta si sommeranno per mandar la corrente nel senso 1, 2, 3, 4, 5. — Le due forze elettromotrici complessive contrarie si neutralizzeranno fra di loro e non si avrà nessuna corrente.

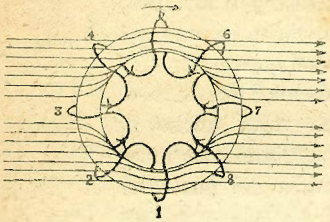


Fig. 43.

Se però, si potesse stabilire un contatto nei punti 5 e 1, dove la *f. e. m.* (1) cambia di segno, con un conduttore esterno, allora le forze elettromotrici delle due metà della spirale, tenderebbero a mandare la corrente nello stesso senso in questo conduttore. Ma come si fa

(1) È molto usata l'abbreviazione *f. e. m.* per indicare forza elettromotrice.

a mantenere il contatto in quei punti, se l'anello gira con la spirale? Lo si ottiene mediante un organo speciale detto *il collettore*. Il collegamento fra spira e spira anzichè esser fatto direttamente, è fatto mediante una serie di piastrine (fig. 44) di rame o di bronzo, a cui sono saldati i due capi delle due spire vicine. Tutte le piastrine, isolate l'una dall'altra mediante della mica o dell'amianto, formano una camicia circolare intorno all'asse dell'anello e girano con questo (fig. 45). Due *pettini* o *spazzole* formati di fili o di rete metallica e qualche volta anche di blocchi di carbone, appoggiano continuamente contro questa camicia nei punti sui quali si deve stabilire il contatto e ad essi si attacca il conduttore $P_1$ $R$ $P$, nel quale si vuole mandar la corrente. Il pettine da cui la corrente esce chiamasi il pettine positivo e si segna $+$; l'altro chiamasi negativo, e si segna $-$. In pratica per avere una forte forza elettromotrice, è necessario mettere sull'anello un gran numero di spire e se per ogni spira si munisse di una piastrina il collettore, questo risulterebbe formato di troppe piastrine e non potrebbe rimaner solido. Perciò si dividono le spire in gruppi e si mette una piastrina al collettore solo per ogni gruppo (fig. 45).

Fig. 44.

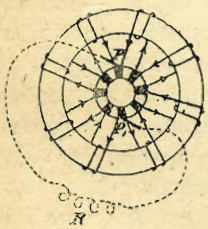


Fig. 45.

Questi gruppi hanno il nome di *rocchetti elementari*, e tutto l'assieme dell'anello, delle spire e del collettore chiamasi *indotto*. Il circuito $P_1 R P$ dicesi il circuito esterno ed è quello in cui la corrente viene utilizzata.

18. I due pettini, stando a quanto si è detto, dovrebbero, toccare il collettore sul diametro $A B$ (fig. 46), perpendicolare alla direzione del campo prodotto dall'elettrocalamita induttrice; in pratica si trova che se si tengono i pettini nella detta posizione, lungo tutta la linea di contatto si formano delle scintille che rovinano il collettore e che spariscono se si spostano i pettini in avanti rispetto alla direzione del moto come indica la fig. 46. La necessità di questo spostamento sta ad indicare che non è, come abbiamo supposto, sulla linea $A B$ che avviene il cambiamento di direzione della forza elettromotrice nelle spirali dell'indotto, ma bensì lungo la linea $A_1 B_1$ e la ragione di questo fatto sta nella magnetizzazione che la corrente generata dall'indotto, circolando nell'avvolgimento dell'indotto stesso, esercita sul suo nucleo di ferro.

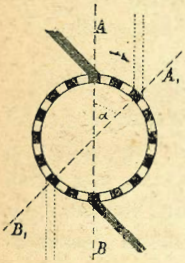


Fig. 46.

Per effetto di questa magnetizzazione non si può più considerare che nel campo magnetico prodotto dagli induttori trovisi un anello di ferro, giacchè questo anello è diventato una calamita, la quale agisce sulle

linee di forza, piegandole come è indicato schematicamente nella figura 47; a tale azione si dà il nome di *reazione dell' indotto.*

In causa di tale contorcimento, le linee di forza entrano nell' anello per tutta la metà di sinistra della liuea *A* B, ed escono dalla metà di destra. E dunque al di qua e al di là di questa linea che le forze elettromotrici hanno segno contrario; è quindi secondo questa linea che le spazzole devono toccare il collettore; ossia esse devono essere spostate nel senso del movimento. Ma la magnetizzazione dell' indotto è più o meno energica secondo che è più o meno intensa la corrente che circola nel suo avvolgimento, così, ogni qualvolta cambia l' intensità nella corrente, cambia conseguentemente lo spostamento della linea d' inversione e per evitare le scintille al collettore, bisogna cambiare la posizione delle spazzole. A tale scopo le spazzole devono essere montate su di un *porta spazzole* mobile che permetta di variare l' angolo $\alpha$ (fig. 46) detto *angolo di calaggio.*

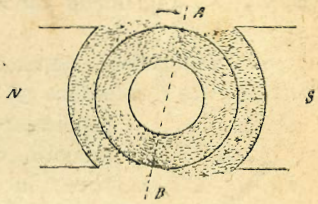


Fig. 47.

19. Si presenta ora la questione del come ottenere il campo magnetico dentro al quale deve ruotare l' indotto per diventare una sorgente elettrica.

In alcune macchine antiche si usavano le calamite

permanenti, che sono presto cadute in disuso perchè costavano molto e non davano dei campi molto intensi. Attualmente si usano quasi esclusivamente elettrocalamite; le quali, con molto minor spesa, possono dare dei campi molto intensi, ma però, per esser magnetizzate, o, come si suole dire, per essere *eccitate* hanno bisogno della corrente.

Stabiliamo anzitutto alcuni nomi.

Si è già detto che l'anello col relativo collettore si chiama l'*indotto*. — Le elettro-calamite che servono a formare il campo magnetico si chiamano gli *induttori* o anche i *magneti del campo*. Le masse di ferro o di ghisa, con cui finiscono gli induttori e che abbracciano l'indotto, si chiamano le *masse polari* e la superficie di queste rivolte verso l'indotto *faccie polari*. La spirale che avvolge il *nucleo* degli induttori dicesi la *spirale magnetizzante*. La massa di ferro che unisce le estremità degli induttori che non fanno capo alle masse polari dicesi *giogo*.

Tutto l'assieme compresi i cuscinetti che sorreggono l'asse intorno a cui deve ruotare l'indotto dicesi *macchina dinamo-elettrica* o semplicemente *dinamo*. — Tutta la parte in ferro si chiama *scheletro della dinamo* mentre le parti in rame prendono il nome generico di *avvolgimenti*.

Si può mandare nella spirale magnetizzante la corrente di un altro generatore, come pila o accumulatori o altra dinamo, ed allora si dice che la dinamo funziona ad *eccitazione separata*. Questa disposizione,

rappresentata schematicamente nella fig. 48, non è usata che nelle grandi stazioni per illuminazione delle città. Negli impianti non molto grandi si fa in modo che la dinamo stessa provveda all'eccitazione dei suoi elettromagneti o, come si suol dire, che sia *autoeccitatrice.*

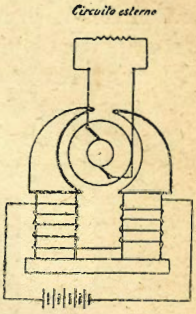


Fig. 48.

Uno dei modi di ottenere ciò è quello indicato dalla figura 49, in cui la spirale eccitatrice è messa in serie con l'indotto e col circuito esterno in modo che tutta la corrente generata dalla dinamo attraversi la spirale del campo. — Allora la dinamo si dice *eccitata in serie.*

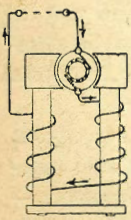


Fig. 49.

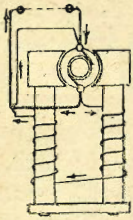


Fig. 50.

Un'altra disposizione è quella data dalla fig. 50, in cui il circuito esterno e la spirale magnetizzante sono due circuiti derivati, in maniera che per la spirale magnetizzante passa solamente una parte della corrente che circola nell'indotto. In questo caso la dinamo si dice *eccitata in derivazione.*

Notiamo che nel caso della dinamo in serie, siccome tutta la corrente passa per gli avvolgimenti degli in-

duttori, è necessario che questi avvolgimenti siano fatti con un conduttore di sezione relativamente grande, perchè altrimenti presenterebbero troppa resistenza al passaggio della corrente e per la legge di Ohm, si avrebbe una perdita rilevante nella differenza di potenziale disponibile. Nelle dinamo in derivazione invece bisogna che l'avvolgimento degli induttori sia fatto con filo sottile, essendo necessario che esso offra una resistenza sufficiente, acciocchè non sia troppo grande la corrente che circola negli elettromagneti e non nel circuito esterno.

Oltre questi due avvolgimenti ve ne è un terzo, che è il più diffuso nei piccoli impianti, ed è formato dalla unione di quello in serie e di quello in derivazione e perciò è detto *composito* o *compound* (fig. 51); su esso dovremo ritornare in seguito.

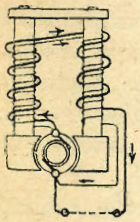


Fig. 51.

Date queste disposizioni degli avvolgimenti si vede finalmente come una dinamo, una volta che sia in funzionamento, possa continuare a provvedere da se alla corrente necessaria all'eccitazione, ma resta a spiegarsi come cominci a funzionare allorchè viene messa in movimento e si trova smagnetizzata. Per spiegarci questo fatto, dobbiamo rammentare che, allorquando cessa là ccorrente in un elettromagnete, non cessa perciò completamente il magnetismo, ma resta sempre quello che abbiamo chiamato il magnetismo residuo. — Quando si mette in moto l'indotto, questo

ruota in un campo magnetico leggerissimo dovuto a questo magnetismo residuo, che dà origine ad una forza elettromotrice debolissima. – La corrente che circola nell'avvolgimento degli elettromagneti nei primi momenti è perciò debolissima, ma essa stessa serve a rinforzare il magnetismo e col magnetismo aumenta la forza elettromotrice e quindi l'intensità di corrente. In tal modo la eccitazione della dinamo contiuua ad aumentare finchè non sia arrivata ad un punto massimo, che dipende dalle dimensioni della dinamo stessa e dalla resistenza del circuito esterno.

20. Abbiamo finora supposto che l'indotto fosse foggiato ad anello, ma in molte macchine invece esso ha la forma di un *tamburo* ed il filo vi è avvolto a gomitolo. — Il funzionamento di questo indotto non differisce da quello ad anello; alcune volte viene preferito quest'ultimo perchè presenta meno difficoltà nelle riparazioni.

Ma, oltre che per la diversità nell'indotto, le dinamo si distinguono anche per la forma degli elettromagneti. — In alcune, due o più rocchetti fanno capo alle stesse masse polari come è rappresentato nella fig. 52 e si chiamano dinamo a poli conseguenti.

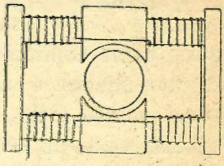


Fig. 52.

In molte altre dinamo, invece che due soli poli se ne hanno quattro, ed allora la dinamo dicesi *tetrapolare*.

In questo caso l'indotto funziona come se fosse formato di due indotti riuniti o meglio come se si avessero due dinamo riunite in una. — Le linee di forza hanno l'andamento indicato nella fig. 53 dalle freccie punteggiate, cosicchè la forza elettromotrice nelle spire cambia di segno ad ogni quarto di giro, anzichè ad ogni mezzo giro. — Perciò; se si impiegano due spazzole che tocchino il collettore in punti diametralmente opposti come nella dinamo a due poli, non si potrà avere nessuna corrente perchè in ciascun mezzo indotto, alcune delle forze elettromotrici tendono a mandar la corrente in un senso, altre in senso inverso così da elidersi fra loro. — Occorrono quattro spazzole, delle quali devono essere riunite esternamente fra loro le due positive e le due negative. Però si può ottenere lo stesso effetto se, invece che riunire le spazzole esternamente, si collegano fra loro le piastrine del collettore diametralmente opposte, come è schematicamente indicato nella fig. 54. Allora sono sufficienti due sole spazzole che tocchino il collettore in due punti distanti fra loro un quarto di circonferenza.

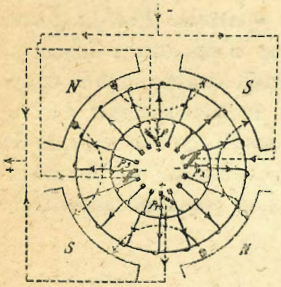
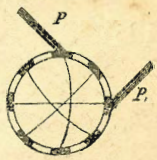


Fig. 53.



Fig, 54.

Alcune dinamo tetrapolari di piccola potenza, hanno due sole spazzole e perciò le piastrine del collettore sono a due a due, quelle diametralmente opposte, permanentemente collegate fra loro; in generale però si preferisce impiegare quattro spazzole. Per la grande potenza si costruiscono dinamo a sei, otto e anche più poli con tante coppie di spazzole quante sono le coppie di poli. Qualche volta si usa un tipo speciale d'avvolgimento di indotti, detto *in serie*, che non richiede che una sola coppia di spazzole qualunque sia il numero delle coppie di poli, ma noi non possiamo addentrarci in questo argomento.

---

## CAPITOLO VI.

21. — Veniamo ora agli effetti prodotti dalla corrente elettrica e al modo di utilizzarli.

La proprietà magnetizzante ha una larghissima applicazione pratica e già abbiamo veduto quale importanza essa abbia nelle macchine dinamo elettriche; ma certo più importante di queste, è l'applicazione dell'elettromagnete alla telegrafia ossia alla trasmissione a distanza della parola scritta. Faremo un cenno del come si ottenga lo scopo.

Nella stazione *A* (fig. 55), dalla quale si vuole tras-

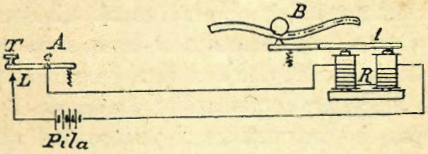



Fig. 55.

mettere un dispaccio alla stazione *B*, esiste un tasto,

manipolatore, formato da una leva metallica, girevole in *c*, che una piccola molla tiene staccata dal contatto *L*, comunicante con un polo della pila. La detta leva, mediante la cerniera, è permanentemente in comunicazione con un conduttore, detto la *linea*, che va, alla stazione *B*, a far capo ad un elottro-calamità *R*; l' altro estremo dell' avvolgimento di questa elettro-calamita si collega ad una seconda linea che ritorna alla pila, alla stazione *A*. Si vede subito che il circuito resta aperto finchè, premendo sul bottene *T*, non si porta il manipolatore in contatto con *L*. Allora la corrente della pila circola nell' elettro-calamita *A*, la quale viene così eccitata e attira una ancoretta di ferro sovrastante *l*, che, a circuito aperto, è tenuta discosta da una molla a saltaleone. L' ancora *l*, quando viene attratta dalla elettro-calamita, porta un nastro di carta *S'* in contatto con una piccola rotella intrisa nell' inchiostro oleoso. La carta non è ferma, ma progredisce con moto uniforme mossa da un apparecchio d' orologeria e, quindi, fin tanto che il tasto è tenuto abbassato in *A*, in *B* si scrive un segno continuo sulla *zona*, chè così è chiamata la striscia di carta. Evidentemente tenendo più o meno abbassato il tasto, si possono trasmettere dei segni brevi e dei segni lunghi, detti punti e linee, e mediante combinazioni convenute di punti e linee, si possono trasmettere le lettere dell' altabeto e quindi le parole e le frasi. Diamo qui le combinazioni di punti e linee accettate da tutto il mondo per rappresentare le lettere dell' alfabeto.

| | |
|---|---|
| *a* · — | *o* — — — |
| *b* — · · · | *p* · — — · |
| *c* — · — | *q* — — · — |
| *d* — · · | *r* · — · |
| *e* · | *s* · · · |
| *f* · · — · | *t* — |
| *g* — — · | *u* · · — |
| *h* · · · · | *v* · · · — |
| *i* · · | *w* · — — |
| *k* — · — | *x* — · · — |
| *l* · — · · | *y* — · — — |
| *m* — — | *z* — — · · |
| *n* — · | |

22. — La parte più dispendiosa nelle comunicazioni telegrafiche sono i fili di collegamento fra le stazioni e perciò bisogna cercare di renderli meno numerosi che sia possibile.

Osserviamo, intanto che la linea di ritorno fra l'apparato ricevitore della stazione *B*, e la pila della stazione *A*, può essere soppressa e sostituita con la terra che, come abbiamo visto, può considerarsi un buon conduttore. Di più, combinando gli apparecchi come è

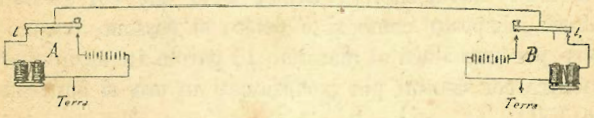



Fig. 56.

Indicato nella figura 56 si possono trasmettere dei di-

spacci nei due sensi servendosi della medesima linea. I manipolatori, quando sono alzati, sono in comunicazioni, mediante gli appoggi $l$, $l_1$ ciascuno con uno degli estremi dell'avvolgimento dell'elettromagnete dell'apparato ricevitore della rispettiva stazione. Quando sono abbassati, staccano la linea, che è in comunicazione con le cerniere, dagli apparati ricevitori e la mettono in comunicazione ognuno con uno dei poli della rispettiva pila. Gli altri estremi degli elettromagneti e gli altri poli delle pile sono in comunicazione con la terra.

Supponiamo che si abbassi il tasto in $A$, la corrente della pila di questa stazione, per il tasto andrà alla linea, e trovando in $B$ il tasto alzato, passerà all'elettro-magnete dell'apparato scrivente e per la terra ritornerà alla pila della stazione $A$. Reciprocamente abbassando il tasto in $B$, il segnale sarà trasmesso da $B$ in $A$, mediante la corrente fornita dalla pila $B$.

Questo sistema di telegrafia si chiama *Morse* dal nome dell'inventore ed è quello più comunemente usato. Ve ne sono altri molto più complessi sui quali non possiamo intrattenerci; diremo solo che col sistema Morse, disposto come si è detto, si possono trasmettere per una linea al massimo 15 parole in un minuto, mentre coi sistemi più perfezionati in uso si superano le 150.

Le linee che si impiegano per le trasmissioni telegrafiche terrestri sono in filo di ferro zincato di

diametro diverso secondo le distanze. Esse vengono sorrette, in campagna, da pali di castagno e isolate mediante isolatori di porcellana. La pila che ordinariamente si impiega è l'italiana. L'elettro-calamita di un apparato ricevitore Morse, ha circa 600 ohm di resistenza e funziona con un'intensità di circa 5 millesimi di amper.

Per la trasmissione attraverso il mare, la linea è formata da una cordicella di 7 fili di rame, rivestita da una sostanza isolante (gomma o guttaperca) impenetrabile all'acqua. Affinchè poi sia possibile affondarla alle grandi profondità senza guastarla e perchè possa resistere alle correnti sottomarine, viene inserita in una robusta corda di fili di ferro, e perciò porta il nome di *cavo armato sottomarino.*

23. — Un'altra applicazione molto importante e molto diffusa della elettro-calamita è quella delle suonerie di chiamata.

Fig. 57.

Ecco come è fatto un campanello elettrico. È *c* (fig. 57) una campana che può aver forme diverse, qualche volta è emisferica, qualche volta ha la forma ordinaria della

campana e qualche volta è anche fatta a bubolo; *E* è un elettro-calamita la cui ancoretta di ferro, finchè non passa corrente, è tenuta, da una molla *M*, discosta dalla elettrocalamita e a contatto con una vite di arresto C. Unito all' ancoretta è il battaglio *D*.

Due serrafili *S* e $S_1$ sono in comunicazione l' uno con la vite *C* l' altro con un capo dell'elettro-calamita *E*, di cui l' altro capo è in comunicazione con la molla *M*. Il circuito fra i due serrafili è quindi così formato: serrafili *S*, vite *C*, ancoretta *A*, molla *M*, elettro-calamita *E*, serrafili $S_1$.

Supponiamo ora che alla stazione *A*, da cui si vuole trasmettere le chiamate, vi sia una pila i cui poli, mediante due linee, sono messi in comunicazione coi serrafili del campanello. Uno dei fili però sia interrotto da un tasto *T*. Allorchè si preme su questo tasto, la corrente circola nell' elettromagnete, attira l' ancora *A* e quindi porta il battaglio *B* a urtare contro la campana. Ma in seguito all' attrazione dell' ancora *A*, il circuito si interrompe in *C*, cessa l' attrazione e, per effetto della molla *M* l' ancora ritorna contro l' appoggio e richiude il circuito. Ricomincia quindi l' attrazione e così il battaglio seguita a vibrare e il suono continua finchè si tiene abbassato il tasto *T*.

Il tasto ha forma differenti in pratica. I campanelli usuali presentano all' incirca 5 ohm di resistenza e richiedono per il funzionamento 0,3 d'amper circa. Per le linee si usa generalmente filo di rame di un millimetro

circa di diametro, rivestito con due coperture di fili di cotone avvolte a spirale; la copertura inferiore spesso è bituminata perchè riesca impermeabile alla umidità; quella superiore è tinta a colori diversi. Le linee vengono fatte correre lungo i muri su piccoli isolatori di porcellana o di osso, oppure in cassette di legno o deutro tubi.

24. — Il caso considerato di un campanello e di un tasto di chiamata, è il più semplice che possa presentarsi, ma le installazioni che si verificano in pratica, sono molto più complesse, trattandosi ordinariamente di sistemare parecchie stazioni di chiamata a diversi campanelli. Stabilire delle regole non è possibile, perchè le condizioni sono ssmpre diverse, e, affinchè l'installazione riesca bene senzà spreco di materiale, sono necessarie pratica e avvedutezza in chi dirige l'impianto. Qui accenneremo solo brovemente a qualche caso.

Se fra le due stazioni la chiamata deve essere reciproca, i circuiti devono essere disposti come nella fig. 58, ossia occorrono tre linee, delle quali una si può risparmiare se il ritorno può esser fatto per la terra.

Fig. 58.

Se la distanza fra le due stazioni è molto grande, il

costo della linea diventa rilevante, ed allora conviene più raddoppiare le pile e semplicare le linee, come è rappresentato nella fig. 59. È necessario un tasto

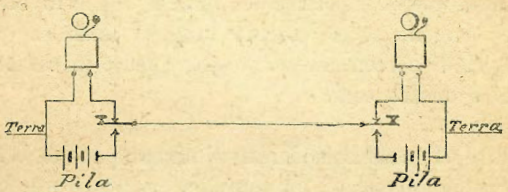



Fig. 59.

doppio (analogo a quello telegrafico) che tenga permanentemente la linea in comunicazione col campanello e la terra o il filo di ritorno e che, abbassato, metta la linea in comunicazione con la pila. È questa la disposizione usata nella chiamata degli apparecchi telefonici.

Molte volte occorre chiamare da molti punti ad un solo campanello. In questo caso converrà sempre metter

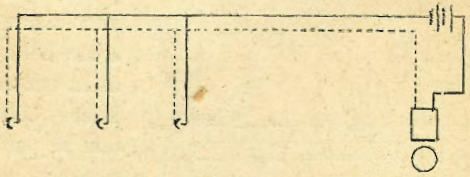


Fig. 60.

la pila in vicinanza del campanello e si potrà procedere nel modo segnato (fig. 60). Un polo della pila si collega

ad un serrafili del campanello. Poi partendo dall'altro polo della pila e dall'altro serrafili del campanello, si conducono due linee (segnate nella figura a punti e a tratto) che passino in vicinanza ai bottoni di chiamata. Queste due linee si potranno chiamare linea del campanello e linea della pila e converrà impiegare due fili coperti a colori diversi per poterle sempre distinguere. Dalle linee del campanello e della pila basterà poi prender delle derivazioni per i singoli tasti di chiamata.

Così però chi è al campanello non può sapere da chi vien chiamato, a meno che non si stabiliscano dei segni convenzionali per ogni bottone di chiamata; bisognerebbe stabilire che un dato tasto dovesse chiamare con un numero di colpi diverso da un altro. Ma questo sistema non è pratico quando i posti di chiamata siano molto numerosi, nel qual caso si ricorre ai così detti quadri indicatori che hanno anche il vantaggio di lasciar traccia dell' avvenuta chiamata.

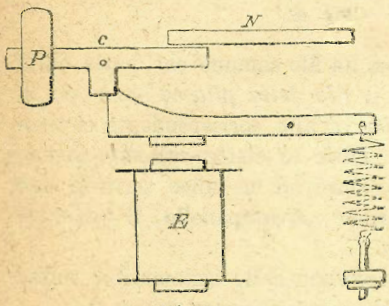


Fig. 61.

Dei quadri ve ne sono di molte e svariate forme; il sistema più diffuso consiste nell' introdurre nel circuito una piccola elettro-calamita *E* (fig. 61) la quale, allorchè si preme il bottone, eccitata dalla corrente stessa che

fa suonar il campanello, attira un'ancoretta e libera il giogo *P C N*; questo, per effetto del contrappeso *P*, ruota intorno a *C* e quindi alza la targhetta *N* su cui è scritto un numero.

In questo caso occorre per ogni tasto di chiamata una linea che vada direttamente al quadro e la disposizione deve essere quale è indicata nella fig. 62. Tutti

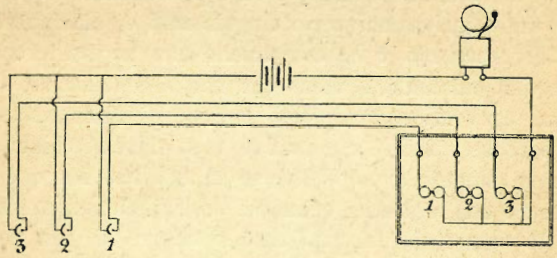



Fig. 62.

i tasti sono collegati ad un filo comune che parte dalla pila e che si chiama il *filo della pila* ed hanno poi la loro linea separata che va alla corrispondente elettro-calamita del quadro. Tutte le elettro-calamite hanno uno dei loro estremi riuniti ad un unico serrafili che si mette in comunicazione col campanello, il quale poi va collegato alla pila.

Molto spesso si presentano delle sistemazioni molto più complesse di quelle a cui abbiamo accennato.

Può darsi che debbano stabilirsi molti tasti che devono chiamare diversi campanelli. Per fissare le idee, sup-

poniamo che il tasto *A* (fig. 63) debba far suonare il campanello *B*; il tasto *C* debba corrispondere col cam-

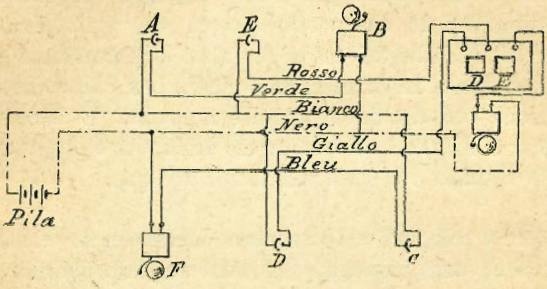



Fig. 63.

panello *F*; i tasti *D*, *E* col campanello *L* con l'intermediario di un quadro indicatore.

In questi casi la sistemazione riescirà la più semplice e la più economica procedendo nel modo seguente. Dai poli della pila si faranno partire due linee che cammineranno vicino ai punti in cui si trovano i tasti e i campanelli secondo che le condizioni del posto meglio suggeriranno. A una di queste due linee si collegheranno indifferentemente tutti i tasti, all'altra tutti i campanelli. Poi da ogni singolo tasto si condurrà la linea che lo deve collegare al rispettivo campanello o quadro indicatore.

I fili generalmente correranno riuniti in fascio; è perciò necessario che le loro copertura sieno di colore diverso per poterli sempre distinguere. Per far ciò, dopo

aver fatto il disegno dell' impianto (senza del quale non si deve mai eseguire un' installazione se si vuole che il lavoro riesca bene) ci si regolerà dal numero massimo dei fili che passano in un solo punto per scegliere il numero dei colori di questi si segneranno sul disegno stesso in maniera che riesca ben chiara la distinzione per chi deve eseguire il lavoro. È bene cominciare il lavoro di esecuzione dalla pila e progredire verso il tasto o il campanello più lontano.

Oltre i telegrafi e le suonerie elettriche le elettrocalamite sono impiegate in una svariata infinità di applicazioni di minor importanza.

---

## CAPITOLO VII.

25. — Accenneremo ora ad un altro effetto prodotto dalla corrente che, per le sue applicazioni, può ritenersi uno dei più importanti.

Formiamo un circuito, come è indicato nella fig. 64, riunendo in serie tanti pezzi di filo di rame della stessa precisa lunghezza, ma di diametro differente, e mandiamo in questo circuito la corrente di una pila o di una dinamo; osserveremo che tutte le varie parti del circuito si scaldano col passaggio della corrente, ma che il tratto *C D*, di diametro più piccolo, scalda molto più che gli altri tratti, i quali rimangono più freddi quanto più il loro diametro è grande.

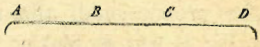


Fig. 64.

Se faremo in maniera d'andar gradatamente aumentando l'intensità della corrente, vedremo che andrà via via aumentando la temperatura di tutto il circuito, ma saranno sempre più caldi i tratti di diametro minore. Seguitando ad aumentare l'intensità di corrente, ar-

riveremo a far diventar rovente il tratto *C D* e, seguitando ancora ad aumentare, diventerà rovente anche il tratto *B C*, ma intanto *C D* sarà diventato incandescente ed arriverà anche a fondersi.

La corrente dunque riscalda di preferenza i tratti di diametro minore, i quali sono quelli che a parità di lunghezza presentano anche maggior resistenza; anzi è più esatto dire che la corrente riscalda di preferenza quei tratti di circuito che a pari lunghezza presentano maggior resistenza. Infatti noi possiamo ripetere l' esperienza precedente disponendo in serie dei pezzi di filo dello stesso diametro e della stessa lunghezza, ma uno di argento, l' altro di rame, il terzo di ferro, il quarto di platino. Avendo tutti egual lunghezza ed egual diametro, i vari tratti offriranno resistenze proporzionali alla resistenza specifica dei vari metalli; il filo di platino sarà più resistente di quello di ferro, quello di ferro più di quello di rame, questo più di quello d' argento e troveremo che il platino si scalda più del ferro, il ferro più del rame, questo più dell' argento. Dunque:

*La corrente elettrica riscalda i conduttori che attraversa e questo riscaldamento può arrivare fino alla fusione. In un circuito si scaldano di preferenza quei tratti che*, a pari lunghezza, *presentano maggior resistenza.*

Ne viene di conseguenza che quando si voglia ottenere per mezzo della corrente un' elevata temperatura in un punto del circuito, bisognerà inserire in quel punto un

tratto di conduttore formato di un filo molto sottile e di metallo molto resistente, e formare il rimanente circuito con conduttori di sezione rilevante e di metallo più conduttore.

Ciò è appunto quello che si fa nelle spolette elettriche a bassa tenzione, le quali servono per far esplodere le mine subacquee e sotterranee e sono così costituite. Attraverso un cilindretto di sostanza isolante (solfo, legno) (fig. 65) passano due fili di rame di un millimetro circa di diametro, ordinariamente rivestito di materia isolante. Gli estremi *a b* di questi due fili sono riuniti con un filo di qualche millimetro di lunghezza, e di qualche centesimo di millimetro di diametro, saldato alle dette estremità. Questo filo, che è di platino o di platino iridiato, oppure di una lega di platino e argento, sotto l'azione della corrente, per quanto abbiamo detto di sopra, diventa incandescente e fonde, prima che le altre parti del circuito, che essendo di rame e di dimensioni maggiori offrono minor resistenza, neppur accennino a riscaldare.

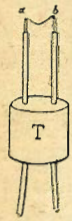


Fig. 65.

Il filo di platino, che chiamasi qualche volta anche il *ponte*, è circondato da una miscela esplosiva, la quale, allorchè il ponte diventa incandescente, esplode e comunica l'accensione alla polvere, al fulmicotone o altra sostanza che circonda la spoletta.

L'intensità di corrente necessaria a produrre l'esplosione varia secondo il tipo della spoletta. Quelle più

comunemente impiegate hanno in media una resistenza di ohm 2,4 e richiedono un'intensità di corrente di 0,25 a 0,35 amp. Anche per l'accensione delle artiglierie si ricorre qualche volta all'arroventamento di un sottile filo di platino mediante la corrente elettrica e si usano i così detti *cannelli elettrici* che non differiscono, nel principio, dalle spolette.

26. — Allorchè si fa una mina sotterranea, generalmente, non si riunisce tutta la carica in un solo punto ma si suddivide in piccole cariche, dette *focolari*, che si debbono far esplodere contemporaneamente. Le spolette dei vari focolari si possono disporre fra loro in serie o in derivazione e nell'uno come nell'altro caso è indispensabile che il generatore sia sufficiente per provocare l'esplosione simultanea e sicura. È quindi utile, dato un numero di spolette, disposte in un dato modo, calcolare prima il numero di elementi minimo necessario per l'esplosione e poi aumentare questo numero per garantire l'effetto.

Debbansi far esplodere tre spolette disposte in serie; la resistenza di una spoletta sia di ohm 2,4; l'intensità necessaria per l'esplosione 0,25 amp.; l'operatore debba rimaner lontano 500 metri dalle mine e quindi fra andata e ritorno siano necessari 1000 metri di linea. Supponiamo che si usi un cavo flessibile a due conduttori isolati con gomma e sostanze tessili del diametro di $^{m}/_{m}$ 0,81, la cui resistenza per kilometro è di 33 ohm circa.

Essendo le spolette disposte in serie, la resistenza che esse presentano complessivamente è la somma delle resistenze di ciascuna d' esse ossia $2,4 \times 3 = 7,2$ ohm; sicchè, aggiungendo la linea, il circuito esterno alla pila sarà di 40,2 ohm.

Per vedere quanti elementi di pila occorrono per avere l' intensità di corrente di 0,25 amp. necessaria all' esplosione, il metodo più semplice è di fare qualche tentativo applicando la legge di Ohm. Gli elementi che noi vogliamo impiegare abbiano 1,4 volt di forza elettromotrice e 0,5 ohm di resistenza interna, e vediamo se 4 disposti in serie possono essere sufficienti.

La forza elettromotrice totale sarà $1,4 \times 4 = 5,6$ volt; la resistenza della pila $0,5 \times 4 = 2$ ohm e quella di tutto il circuito $2 + 40,2 = 42,2$ ohm. Per cui l'intensità di corrente sarebbe $5,6 : 42,2 = 0,13$ amp., che non basterebbe per l' esplosione.

Ripetiamo il calcolo supponendo di prendere 6 elementi e avremo che l'intensità sarebbe $8,4 : 43,7 = 0,19$ amp. non ancora sufficiente. Ripetendo per 8 elementi avremo un' intensità di $11,2 : 44,2 = 0,25$ amp.

Sono dunque necessari un numero di 8 elementi, ma siccome vi possono essere molte cause sfavorevoli, come per esempio dei contatti non buoni, delle spolette che domandano un' intensità maggiore, delle pile non in perfetto stato, è opportuno impiegare un numero ben maggiore e, se nulla si oppone, anche il doppio di quello che il calcolo prescrive.

Facciamo ora il caso di tre spolette della stessa

qualità ma disposte in derivazione e supponiamo che la linea sia sempre la stessa. La resistenza delle spolette, essendo in derivazione, è quella di una spoletta divisa per 3, ossia è 2,3 : 3 = 0,8 ohm e quindi la resistenza del circuito esterno 33 + 0,8 = 33,8 ohm.

L' intensità di corrente nel circuito principale dovrà esser la somma delle intensità nei circuiti derivati, ossia, siccome ogni spoletta richiede 0,25 amp., dovrà essere 0,25 × 3 = 0,75 amp. Se cerchiamo a tentativi quanti elementi sono necessari per avere questa intensità usando elementi di 1,4 di forza elettromotrice e 0,5 di resistenza interna, troveremo che occorrono non meno di 24 elementi.

In questo caso dunque occorrerebbe un numero così rilevante d' elementi, che la pila non sarebbe più trasportabile e ciò perchè la linea è molto resistente essendo fatta con un filo sottile, e la corrente è intensa perchè colla disposizione in derivazione va moltiplicata per il numero delle spolette. Si potrebbe far la linea più grossa, ma allora diventerebbe difficilmente portatile, mentre interessa che un solo uomo possa portare almeno 500 mentri di linea doppia.

Si vince la difficoltà sostituendo alla pila gli *esploditori*, i quali non sono altro che piccole dinamo che possono essere portate a spalle da una sola persona e che si muovono a mano. Però, perchè l' esplosione sia sicura e simultanea per tutte le spolette, bisogna far ruotare l'indotto finchè la dinamo, chiusa su se stessa, sia ben eccitata e solo allora inserire in circuito le spo-

lette. Se non si ha questa precauzione, ma si lasciano le spolette in circuito nel periodo necessario perchè la dinamo si ecciti, qualora le spolette non siano tutte esattamente eguali, l' una o l' altra esploderà prima e quindi incendierà il proprio focolare che distruggerà gli altri senza che abbiano funzionato. Si può ottenere lo scopo in vari modi; accenneremo ad uno soltanto.

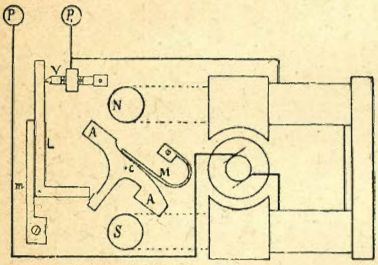


Fig. 66.

La piccola dinamo (fig. 66) è ad avvolgimento in serie ed è chiusa su se stessa perchè la leva $L$, spinta dalla molla $m$ è in contatto con la vite $V$. I serrafili $P$ e $P_1$, cui va attaccato il circuito della spoletta, sono in comunicazione l'uno con la vite $V$, l'altro con la leva $L$ (¹), così che il circuito esterno è chiuso in corto circuito e non può essere attraversato dalla corrente della dinamo, che passa direttamente dalla leva $L$ alla vite $V$. Ma le masse polari della dinamo hanno due appendici di ferro dolce $N$ ed $S$, le quali quando la dinamo sia eccitata, si magnetizzano e attirano l'ancora $A$ girevole intorno a $C$ vincendo l'azione della molla $m$, che

(¹) La comunicazione fra il serrafili $P$ e la molla $L$ non apparisce in figura.

tende a tenerla discosta; l'ancora, con un suo gomito, fa ruotare la leva *L* e apre il corto circuito fra *L* e *V* cosicchè la corrente è obbligata a passare per il circuito esterno.

---

## CAPITOLO VIII.

27. — Il filo di platino mantenuto incandescente dalla corrente elettrica potrebbe essere utilizzato, oltre che come sorgente di calore, anche come sorgente di luce, come lampada elettrica; ma delle lampade così fatte non sarebbero molto convenienti in pratica. Prima di tutto il platino costa moltissimo; in secondo luogo, quando è portato all' incandescenza, solo che la corrente aumenti un pochino, subito si fonde, e quindi le lampade sarebbero soggette a guastarsi con tutta facilità; in terzo luogo, benchè sia uno dei più resistenti, è sempre un metallo e come tale è troppo conduttore e quindi richiede una forte intensità per esser portato all' incandescenza.

A sostituire il platino con altri metalli non vi è neppur da pensarci, perchè, tolto che costerebbero meno, avrebbero tutti gli inconvenienti del platino e di più, mentre questo si fonde ma non brucia, gli altri metalli, se sono tenuti incandescenti in presenza dell' aria, si combinano con l' ossigeno e in poco tempo bruciano.

Un filamento di carbone meglio di ogni altro si presterebbe, perchè essendo molto resistente può esser portato all' incandescenza con piccola intensità di corrente e perchè non fonde che ad una temperatura ben più elevata di quella necessaria per l' incandescenza; ma anch' esso presenta l' inconveniente che, se è mantenuto incandescente in presenza dell' aria, si combina con l' ossigeno e brucia.

Per eliminare questo inconveniente bisogna mantenerlo fuori del contatto dell' aria, nel vuoto, ed è precisamente quello che si fa nelle *lampade a incandescenza.*

Nella fig. 67 sono schematicamente rappresentate le varie parti che compongono la lampada.

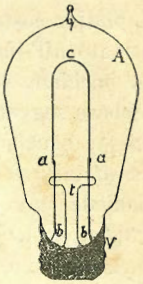


Fig. 67.

*A* è un' ampolla di vetro ermeticamente chiusa, *a c a* è il filamento di carbone, il quale in *a* è saldato a due fili di rame sorretti dal sostegno di vetro *t* fissato all' ampolla; i due fili di rame escono dall' ampolla e servono a portar la corrente. Però i due pezzetti *b d* che attraversano il vetro sono di platino e ciò perchè il platino solo può esser saldato nel vetro, senza dar origine a rotture nei successivi riscaldamenti e raffreddamenti.

L' appendice *q*, che si vede in tutte le lampade, è il residuo di un tubetto di vetro che ha servito ad attaccarle, dopo fissato in posto il carbone, ad una macchina

pneumatica per far il vuoto. Allorchè il vuoto è raggiunto, con un dardo di fiamma il tubetto viene fuso, e così la lampada resta ermeticamente chiusa e vuota d'aria.

Alla parte inferiore della lampada viene fissato l'*attacco*, il quale nel tipo più comune, consiste in una vite maschia in lamierino d'ottone *V*, e in un disco pure in lamierino d'ottone *L*, tenuti insieme, elettricamente isolati, da un blocco di gesso che serve anche a tenerli collegati all'ampolla. Dei due fili di rame che devono portar la corrente al carbone, uno è collegato con la vite *V* l'altro col disco L e questi due organi, servono a prendere la corrente quando la lampada sia inserita nel *portalampade*.

Il portalampade è un organo necessario per poter cambiar la lampada facilmente senza toccar il circuito.

Fig. 68.

Esso è essenzialmente costituito (fig. 68) da una vite femmina $V_1$, in lamierino d'ottone di passo e diametro identici a quelli di *V*, e da un dischetto $L_1$, pure in lamierino d'ottone, tenuti insieme e isolati da appositi sostegni che qui è inutile descrivere. I due fili che conducono la corrente dalla sorgente elettrica, sono collegati uno al disco ed uno alla vite, cosicchè, come facilmente si vede, basta avvitare l'attacco della lampada nel porta-lampade finchè il disco *L* va a toccare il disco $L_1$, perchè il carbone sia inserito in circuito.

Il sistema descritto è quello più comunemente usato e si distingue col nome di *attacco a vite;* ne esistono

però un' infinità d'altri a piuoli, a baionetta, a ganci, tutti che facilmente si comprendono con la semplice ispezione.

Il filamento di carbone è ottenuto in modo diverso dai varî fabbricanti. Nelle lampade Edison è fatto con un filamento di bambù che viene immerso nella polvere di carbone dentro una pentola di ferro e il tutto poi viene arroventato. Il filamento si carbonizza fuori del contatto dell' aria e resta compatto e resistente. Altri costruttori impiegano lo stesso processo, ma usano, invece del bambù, del semplice filo di cotone o delle striscie di carta. La casa Cruto mescola dello zucchero con dell' acido solforico; l' acido carbonizza lo zucchero e forma una pasta che viene ridotta in fili passandola ad una trafila e poi essicata in forno.

28. — Le lampade di un impianto d' illuminazione elettrica vengono ordinariamente disposte in derivazione (§ 14) fra due conduttori collegati ai poli della dinamo e perciò esse vengono a trovarsi tutte pressochè alla stessa differenza di potenziale che è sensibilmente quella esistente ai poli della dinamo. Bisogna dunque che tutte siano costruite per dare il loro splendore normale con quella differenza di potenziale, ossia che il carbone nè diventi troppo incandescente, nè rimanga rossastro, ma assuma quell' incandescenza bianca giallastra delle comuni fiamme.

Gli impianti ordinariamente si fanno con una differenza di potenziale di 65 volt o di 110 volt ai poli

della dinamo e perciò i fabbricanti costruiscono generalmente le lampade per queste tensioni. Però oggigiorno si fanno anche impianti a 150, 200 e 250 volt.

È da far presente però che, con quei numeri si intende indicare semplicemente il tipo dell'impianto e non già la differenza di potenziale precisa a cui devono esser tenute le lampade; cosicchè si dice che un impianto è fatto con lampade a 65 volt anche se in quell'impianto vengono usate lampade di 62-66 volt, oppure che è fatto con lampade a 110 volt anche se in realtà si impiegano lampade di 105-115 volt.

La potenza luminosa di una lampada si esprime col numero delle candele (candele inglesi) a cui equivale, e se ne costruiscono da 8, 10, 12, 16, 25, 50, 100 candele.

Quanto più grande è la potenza luminosa, tanto più grosso è il loro filamento di carbone e quindi le lampade più potenti presentano minore resistenza e richiedono maggior intensità di corrente per essere portate alla incandescenza normale. Per le lampade comuni del commercio si possono ritenere come sufficientemente approssimati i seguenti dati:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volt | 65 | 65 | 65 | 65 | 110 | 110 | 110 | 110 |
| Potenza in candele | 12 | 16 | 25 | 50 | 12 | 16 | 25 | 50 |
| Resistenza in ohm | 100 | 75 | 47 | 23 | 290 | 220 | 138 | 70 |
| Intensità di corr. in amp. | 0.65 | 0.86 | 1.40 | 2.8 | 0.38 | 0.51 | 0.80 | 1.59 |

La resistenza indicata è quella che presenta il filamento quando è incandescente, che è assai minore di quella a freddo; poichè la resistenza del carbone, contrariamente a quella dei metalli, diminuisce (§ 11) colla

temperatura. All' incirca si può dire che la resistenza di una lampada quand'è accesa, è metà di quando è spenta.

Dopo qualche tempo di funzionamento si trova che il globo di una lampada a incandescenza annerisce. Questo fatto avviene perchè il carbone portato all'elevata temperatura del filamento, lentamente si evapora e si ricondensa poi su la parete fredda della lampada o, come si suol dire, si *sublima*. Il filamento diventa in conseguenza più sottile, la sua resistenza aumenta, l' intensità di corrente diminuisce e nello stesso tempo diminuisce l' intensità luminosa. *Una lampada vecchia fa quindi meno luce che una lampada nuova.*

Siccome il filamento non può essere perfettamente omogeneo in tutta la lunghezza, col progredire del tempo esso si assottiglia in qualche punto più che negli altri. Quel punto diventa allora un punto di massima resistenza, e siccome in un circuito lo sviluppo di calore è maggiore in quei tratti nei quali la resistenza a pari lunghezza è massima (§ 25), così nel punto assottigliato si ha un fortissimo sviluppo di calore. Il carbone non può mantenersi compatto all' elevata temperatura che si forma e il filamento si rompe.

La vita media delle lampade si può assegnare di 500 ore, però alcune durano molto meno e altre molto più di questo valore medio.

Se la lampada ad incandescenza viene tenuta ad una differenza di potenziale superiore a quella prescritta come normale, dà una luce più intensa di quella nor-

male e di una tinta bianca azzurrognola. — Si dice allora che la lampada è *forzata*, e in queste condizioni ha una durata di gran lunga minore che se viene tenuta sempre alla differenza di potenziale prescritta.

Se poi si porta la differenza di potenziale ad un valore eccessivamente alto, il doppio circa di quello prescritto, il filamento brucia immediatamente e brucia nel punto in cui, per qualche irregolarità del carbone, è maggiore la resistenza.

Se invece la lampada viene tenuta ad una differenza di potenziale inferiore a quella prescritta, la durata aumenta enormemente, ma diventa minore l' intensità luminosa, e basta una diminuzione di pochi volt perchè l' intensità di luce diminuisca considerevolmente. Per esempio una lampada di 12 candele e 65 volt, a 60 volt non dà più che 8 candele.

Dunque sarebbe sbagliato il concetto di tenere il voltaggio più basso del prescritto per far economia nelle lampade da ricambiare, giacchè con lo stesso consumo di carbone necessario per tener la dinamo in moto, si avrebbe una quantità di luce molto minore. Non sarebbe neppure economico l' elevar di molto il potenziale, perchè allora la spesa di ricambio delle lampade diventerebbe rilevante e forse superiore a quella del combustibile che si economizza.

La tenzione prescritta come normale è quella alla quale corrisponde la miglior potenza luminosa compatibile con una buona durata della lampada, ossia rappresenta l' andamento più economico dell' impianto.

## CAPITOLO IX.

29. — Il fatto che si ha il massimo sviluppo di calore nei punti di un circuito in cui la resistenza è maggiore, ci spiega perchè si riscalda un contatto male stretto e perchè allorquando si interrompe un circuito, staccando due parti metalliche, si forma una scintilla più o meno viva secondo che la corrente è più o meno intensa e, nello stesso tempo, il metallo si fonde nei punti di distacco.

Allorquando si diminuisce la pressione con cui sono premuti l'uno contro l'altro due pezzi metallici che mantengono chiuso il circuito, evidentemente si riduce la superficie di contatto; aumenta quindi la resistenza in quel punto e ha luogo in conseguenza lo sviluppo di calore. È perciò che scaldano i contatti che fanno parte di un circuito elettrico quando non sono ben puliti e ben serrati. Allorchè poi i due pezzi vengono allontanati, la superficie di contatto all'ultimo istante, quando è per esser prodotto il distacco, sarà ridotta a non essere più che un punto. In quel punto è come se

i due pezzi metallici fossero elettricamente collegati da un conduttore molto corto, ma così sottile da presentare una resistenza infinitamente grande; allora in quel punto si sviluppa una grande quantità di calore che arriva a fondere e volatilizzare il metallo. Quella che chiamasi scintilla non è dunque una vera e propria scintilla, ma è semplicemente una bruciatura delle ultime parti che restano in contatto, quando si interrompe un circuito. Tuttavia conserveremo la dicitura di scintilla per accordarci col linguaggio comunemente usato.

Se il circuito è interrotto bruscamente, la scintilla non dura che un istante; ma se i due pezzi vengono allontanati lentamente a piccola distanza l'uno dall'altro, la scintilla continua dando una luce viva continua, finchè, col volatilizzarsi del metallo, le due estremità affacciate non si sieno allontanate di troppo. Fra le due punte si forma un'atmosfera di vapore di metallo incandescente, detto *arco voltaico*, attraverso il quale seguita a passare la corrente quando le punte non sono più a contatto e, siccome quei vapori sono molto più resistenti del metallo, così quel punto del circuito è il punto più resistente; in quel punto si sviluppa la massima quantità di calore e perciò continua la volatilizzazione delle punte.

Il fenomeno che abbiamo descritto viene utilizzato per ottenere delle intense sorgenti di luce, ma a tale scopo vengono impiegate delle punte di carbone, con le quali l'effetto è assai più brillante.

Cerchiamo di seguire i più importanti fenomeni che accompagnano la formazione dell' arco fra due carboni e, per fissare le idee, supponiamo che $A\,A$ e $B\,B$ (fig. 69) sieno due tratti di conduttura principale di un impianto tenuto a una differenza di potenziale di 65 volt e che $A\,A$ sia il conduttore collegato al polo positivo della dinamo o, possiamo anche dire, sia il conduttore positivo dell' impianto.

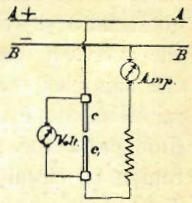


Fig. 69.

Siano $c$ e $c_1$ due pezzi cilindrici di carbone tenuti verticalmente e sia il superiore collegato al conduttore positivo dell' impianto, l' inferiore al negativo. Nel circuito derivato così formato, sia inserito un reostato in un punto qualunque, e un amperometro che indichi l' intensità della corrente che attraversa l' arco. Un voltmetro, messo in derivazione fra i carboni, segni la differenza di potenziale che fra questi si stabilisce.

Finchè i carboni sono discosti, nessuna corrente circola nel circuito derivato; l' amperometro resterà a zero e il voltmetro indicherà la differenza di potenziale esistente fra i conduttori principali del circuito, ossia 65 volt, perchè la resistenza del reostato e dell' amperometro sono trascurabili rispetto a quella del voltmetro e, quindi, è come se quest' ultimo fosse attaccato direttamente alla conduttura principale.

Per formar l' arco, per quello che abbiamo detto, bisogna prima portar i carboni a contatto e osserve-

remo, che, appena essi si toccano, si manifesta subito un arroventamento alle punte e che l'amperometro indica un' intensità di corrente fortissima mentre il voltmetro scende quasi a zero.

È necessario allontanare subito i due carboni per impedire che la corrente troppo intensa danneggi qualche parte del circuito.

Appena formato un piccolo distacco fra le punte, vedremo l'amperometro indicare un'intensità alquanto inferiore alla precedente e il voltmetro, che era a zero finchè i carboni si toccavano, salire di sbalzo verso i 40 volt; fra le punte intanto si è formato l'arco, che però è instabile, *fischia* continuamente, getta dei dardi di fiamma, nel mentre gli istrumenti oscillano continuamente e la luce è incerta e fastidiosa.

Seguitiamo ad allontanar i carboni e vedremo l'intensità di corrente andare sensibilmente diminuendo, mentre il voltmetro indicherà sempre lo stesso numero di volt o almeno varierà di poco; l'arco andrà facendosi sempre più tranquillo, finchè ad un certo punto si farà completamente tranquillo e silenzioso, e gli strumenti cesseranno le oscillazioni e si metteranno pur essi tranquilli.

Continuando ad allontanare i carboni, l'arco si conserverà per un certo tratto sempre silenzioso; diminuirà progressivamente l'intensità di corrente e salirà contemporaneamente la differenza di potenziale, ma l'aumento di questa sarà, in relazione, meno forte che la diminuzione di quella.

Seguitando ad allontanare ancora, l'arco, o ad un tratto si spegne o diventa *fiammeggiante*, ossia si sposta tutto in giro ai carboni formando delle lunghe fiamme e finisce con lo spegnersi.

Prima che arrivi questo punto, riaccostiamo invece lentamente i carboni e vedremo ripetersi in senso inverso tutti i fatti osservati durante l'allontanamento; l'intensità di corrente andrà aumentando e la differenza di potenziale andrà diminuendo; ma quella aumenterà molto più rapidamente che questa non diminuisca; a un certo punto l'arco diventerà fischiante, gli istrumenti diventeranno instabili, l'intensità seguiterà a crescere e la differenza di potenziale resterà quasi costante fra i 36 e 40 volt, anche quando i carboni saranno vicinissimi. Allorchè le punte andranno a contatto, il voltmetro scenderà di colpo da 36-40 volt a 0, mentre l'amperometro indicherà una intensità fortissima.

Riportiamo un esempio per veder meglio l'andamento del fenomeno. L'arco è, come mostra la fig. 69, in un circuito derivato da un circuito principale con 65 volt di differenza di potenziale. Nel circuito derivato è inserita una resistenza che, con quella dei conduttori, ammonta a 0,4 ohm. Qui sotto sono riportate, in corrispondenza con le lunghezze dell'arco, le intensità di corrente indicate dall'amperometro inserito nel detto circuito derivato e le differenze di potenziale indicate dal voltmetro posto in derivazione ai carboni.

| LUNGHEZZA DELL'ARCO m/m | INTENSITÀ DI CORRENTE Amp. | DIFFERENZA DI POT. AI CARBONI Volt. | NATURA DELL'ARCO |
|---|---|---|---|
| 0 (a contatto) | 140 | 0 | |
| 1/2 | 60-70 | 36-40 | Fischiante (istrumenti instabili). |
| 3 | 55 circa | 43 circa | Id. |
| 5 | 51 » | 45 » | Id. |
| 6 | 48 | 46 | Tranquillo (istrumenti fissi). |
| 7 | 46 | 47 | Id. |
| 10 | 28 | 54 | Id. |
| 9 | 36 | 51 | Id. |
| 6 | 48 | 46 | Id. |
| 4 | 53 | 44 | Fischiante. |
| Punte vicinissime. | 70 circa | 36-40 | Fischiante. |
| Punte a contatto. | 140 | 0 | |

Da questi numeri risulta, che occorre una differenza di potenziale tanto maggiore quanto più grande è la lunghezza dell'arco, ma che per quanto vicine sieno le punte dei carboni, non occorrono meno di 36 volt circa. Sarebbe inutile tentare di aver l'arco con una pila o una dinamo che avesse una forza elettromotrice minore di 36 volt. All'atto del distacco si manifesterebbe un principio di arroventamento, ma l'arco veramente non potrebbe formarsi.

Questa forza elettromotrice minima di 36 volt circa, necessaria per la formazione dell'arco, dicesi la *forza contro elettromotrice dell'arco.*

30. — Riprendiamo ancora l'esempio di un arco posto in un circuito derivato, i cui conduttori assieme ad un reostato aggiunto, offrono la resistenza di 0,4 ohm.

Se si fossero allontanate ancora le punte oltre i 10 $^{m}/_{m}$, l'arco sarebbe diventato fiammeggiante e avrebbe finito con lo spegnersi. In quella condizione, dunque, regolando opportunamente la lunghezza, si può mantenere l'intensità della corrente ad un valore compreso fra 28 e 18 amp.; non è possibile ottenere un'intensità superiore senza che l'arco diventi fischiante, nè un'intensità inferiore senza che esso diventi instabile e facile a spegnersi.

Ripetendo ora la stessa prova, ma facendo in modo che la resistenza delle parti metalliche del circuito derivato, che comprende l'arco, sia di un ohm anzichè di 0,4 e la differenza di potenziale ai conduttori principali sia sempre di 65 volt, avremo i seguenti risultati:

| LUNGHEZZA DELL'ARCO $^{m}/_{m}$ | INTENSITÀ DI CORRENTE Amp. | DIFFERENZA DI POTENZIALE Volt. | NATURA DELL'ARCO |
|---|---|---|---|
| Punte a contatto. | 65 | 0 | |
| Punte appena staccate. | 28-30 | 36-40 | Fischiante |
| 2 | 27-28 | 37 circa | Id. |
| 3 | 26 | 39 | Tranquillo |
| 5 | 21 | 44 | Id. |
| 6 | 13 | 53 | Id. |
| Oltre 6 millimetri diventa fiammeggiante e si spegne. | | | |

Dunque, con 1 ohm di resistenza, regolando la lunghezza dell'arco fra 3 e 6 millimetri, possiamo mantenere la corrente ad un'intensità compresa fra 13 e 26 amp. invece che fra 28 e 48; al disottto di 13 amp. l'arco si spegne, al disopra di 26 amp. l'arco diventa fischiante.

Risulta quindi che quando un arco è alimentato in derivazione da un circuito principale tenuto a una differenza di potenziale costante, l'intensità della corrente dipende non solo dallo stacco fra i due carboni, ma anche dalla resistenza dei conduttori che costituiscono il circuito derivato in cui l'arco è compreso, e perciò si deve regolare questa resistenza con l'insersione di opportuni reostati, a seconda dell'intensità che si desidera ottenere.

In generale si ammette che per avere un buon arco di giusta lunghezza, occorra una differenza di potenziale ai carboni di 40 volt per una intensità 5-10 amp.; di 50 volt per 50-60 amp.; di 56 per 60-70 amp.; ed in base a questi dati si può di volta in volta calcolare la resistenza che deve essere inserita nel circuito dell'arco.

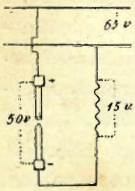


Fig. 70.

Supponiamo che si tratti di un arco di 50 amp. alimentato in derivazione da un impianto a 65 volt (fig. 70); avremo ai capi della derivazione, 15 volt di più di quanti sono necessari per l'arco, i quali dovranno essere assorbiti dalla linea e dalla resistenza addizionale sommate insieme.

Se la linea e il reostato debbono richiedere una differenza di potenziale di 15 volt con una corrente di 50 amp., la legge di Ohm ci dice, che la loro

resistenza complessiva deve essere di 15 : 50 = 0,30 ohm e, supposto che la linea fra andata e ritorno sia composta di 100 metri di cordone di 25 mm² di sezione e quindi presenti una resistenza di ohm 0,07; la resistenza compensatrice dovrà essere di 0,30 - 0,07 = 0,23 ohm. Se invece lo stesso arco è alimentato in derivazione da una conduttura a 110 volt la resistenza complessiva deve essere 60 : 50 = 1,20 ohm e quindi quella compensatrice 1,20 — 0,07 = 1,13 ohm.

Per un arco di 10 amp. si dovrebbero perdere fra la linea e la resistenza compensatrice 65 — 40 = 25 volt e quindi la resistenza complessiva dovrebbe essere 25 : 10 = 2,5 ohm se la conduttura è a 65 volt, e 70 : 10 = 7 ohm se la conduttura principale è a 110 volt.

Ma questa resistenza non ha il solo scopo di assorbire l'esuberanza di differenza di potenziale disponibile fra le linee principali in confronto a quella necessaria per l'arco; essa è anche necessaria perchè un arco alimentato in derivazione da un impianto a potenziale costante, possa funzionare regolarmente senza disturbare il funzionamento delle altre lampade ad arco o a incandescenza, o degli altri apparecchi alimentati dallo stesso circuito. È assolutamente necessario che la differenza di potenziale fra i conduttori principali sia superiore a quella necessaria per l'arco e che l'esuberanza venga assorbita dalla resistenza della linea o dalla resistenza compensativa.

Per fissare le idee, supponiamo che più archi di 50 amp. debbano essere alimentati in derivazione dallo stesso circuito e ammettiamo per un momento che, poichè l'arco

di 50 amp. richiede una differenza di potenziale di 50 volt, si possa tenere fra i conduttori principali una differenza di potenziale di 50 volt e attaccare i carboni direttamente a questi conduttori senza introdurre delle resistenze nei circuiti derivati. Se così si facesse, allorchè i carboni di un arco venissero portati a contatto per produr l'accensione, in quel circuito derivato non resterebbe più che una piccolissima resistenza e quindi passerebbe di là una corrente intensissima che farebbe abbassare la differenza di potenziale fra i conduttori principali e provocherebbe lo spegnimento degli altri archi.

Perchè il funzionamento sia regolare bisogna avere almeno 65 volt fra i conduttori principali e perdere l'esuberanza, come si disse, nella resistenza della linea e nelle resistenze compensatrici; anzi, quanto più alta è la differenza di potenziale dell'impianto e quanto maggiore è la parte assorbita dalle resistenze, tanto più regolare e tranquillo è il funzionamento dell'arco.

Se un impianto a 100 volt deve alimentare anche delle lampade ad arco di non molto grande intensità, per esempio di 10 amp., queste si dispongono in gruppi di due in serie (fig. 71); allora fra tutte due richiedono 80 volt e i rimanenti 20 si perdono nella linea e nella resistenza compensatrice. In questo caso una lam-

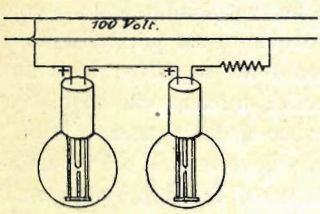


Fig. 71

pada fa da resistenza all'altra e il funzionamento è molto tranquillo e regolare. Se l'impianto è a 150, 200 o 250 volt si possono mettere rispettivamente 3, 4, 5 lampade in serie. In generale una per ogni 50 volt disponibili.

31. — L'arco non può essere utilizzato come sorgente di luce altro che quando è silenzioso, perchè quando è fischiante, come si disse, la sua luce è molto variabile e intollerabile.

L'arco silenzioso, quando il carbone positivo sia il superiore, si presenta come una bella fiamma azzurrognola che partendo dal carbone negativo investe il positivo ed è rimarchevole che il carbone negativo assume le forma di un cono, mentre il positivo si incava formando il così detto *cratere*.

La parte dell'arco, formata di vapori di carbone incandescenti, è trasparente e non molto luminoso; la parte più brillante è il cratere del carbone positivo, dove il carbone trovasi allo stato di fusione; se si guarda l'arco attraverso un vetro affumicato o colorato in bleu si vede subito quanto sia più brillante il carbone positivo in confronto al negativo; sono anzi questo e l'altro della diversità di forma che acquistano le punte, i criteri che servono a distinguere se la direzione della corrente è quale deve essere, o è invertita.

Un arco emette una quantità di luce tanto più grande quanto è più grande l'intensità di corrente che lo attraversa, però in proporzione della corrente bisogna scegliere i diametri dei carboni.

Il carbone positivo consuma in modo molto diverso dal negativo, e precisamente, se hanno diametro eguale, il primo consuma quasi il doppio dell'altro; perciò nelle lampade si mettono carboni sensibilmente di lunghezza una doppia dell'altra. Molte volte, invece, si usano carboni di diametro diverso e si regolano i diametri in modo che i consumi, in lunghezza, riescano sensibilmente eguali. In questo caso nelle lampade si impiegano carboni di egual lunghezza.

Affinchè si formi più facilmente il cratere, il carbone positivo è forato nel senso della sua lunghezza e la cavità cilindrica così risultante è riempita di carbone mescolato con silicato di potassio; si dice allora che il carbone è munito di *miccia* o di *anima*. Il carbone negativo invece ordinariamente si fa *omogeneo*; solo in alcuni casi, per archi molto potenti, si munisce anche il negativo di anima, ma questa volta si fa di carbone molto compatto in modo che si consumi più lentamente del carbone circostante e quindi faciliti la formazione della punta.

Corrispondono bene le seguenti dimensioni.

| INTENSITÀ DI CORRENTE Amp. | DIAMETRO DEL CARBONE IN MILLIMETRI | |
|---|---|---|
| | Positivo | Negativo |
| 10 | 12 con anima | 12 omogeneo |
| | 18 » | 11 » |
| 50-60 | 18 con anima | 18 omogeneo |
| | 23 » | 15 con anima compatta |
| 90-100 | 22 con anima | 22 omogeneo |
| | 25 » | 17 con anima compatta |

Il fatto che il cratere è la parte più luminosa fa sì che la luce non si distribuisce uniformemente, ma viene proiettata con intensità diversa nelle diverse direzioni. Per comprender ciò, consideriamo la fig. 72, dove in *p* è rappresentato il carbone positivo, di cui *e* sarebbe il cratere, ed in *n* il carbone negativo. Si vede subito che un punto situato fra la retta *b b* ed il carbone positivo, per esempio in 1, non solo non vede il cratere, ma ha anche in parte nascosto il carbone negativo e quindi riceve meno luce di un punto situato in 2 fra le rette *o o* e *b b*, di dove non si vede ancora il cratere, ma però è visibile tutto il carbone negativo.

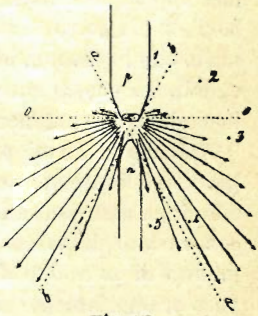


Fig. 72.

Fra le due rette *o o* e *a a* il cratere si vede tutto, ma nei punti più vicini alla *o o*, come in 3, lo si vede molto più in iscorcio che nei punti più vicini alla *a a*, come in 4; l' intensità luminosa andrà quindi crescendo di mano in mano che ci si avvicina alla retta *a a*. Al di là di questa retta il cratere comincia a nascondersi e quindi l' intensità luminosa va rapidamente decrescendo. Nella figura 72 con la lunghezza delle freccie è grossolanamente rappresentata l' intensità luminosa nelle varie direzioni; e deve intendersi che quello che è rapprosentato nel piano della carta succede sim-

metricamente tutto intorno. Per questa diversità di intensità secondo le varie direzioni, per esprimere la potenza di una lampada ad arco si prende la media delle intensità in tutte le direzioni e la si chiama *intensità media sferica*. Essa è all' incirca una terza parte della intensità massima.

Nelle lampade pensili, che servono per illuminazioni di strade o di grandi ambienti, il carbone positivo vien messo sempre superiormente per ottenere il massimo effetto verso il basso e si mitiga l' irregolare distribuzione di luce con globi di vetro opalizzato o smerigliato, i quali regolarizzano alquanto la luce, ma ne assorbono circa una terza parte.

Molte volte l' arco voltaico è impiegato come sorgente luminosa per produrre dei potenti fasci di luce, allo scopo di illuminare un determinato oggetto e renderlo visibile da lontano. A tal fine si impiegano i proiettori, che essenzialmente consistono in specchi curvi di vetro argentato, i quali riflettono i raggi che ricevono dalla sorgente e li mandano tutti in una stessa direzione. Se con *ab* (fig. 73) rappresentiamo il

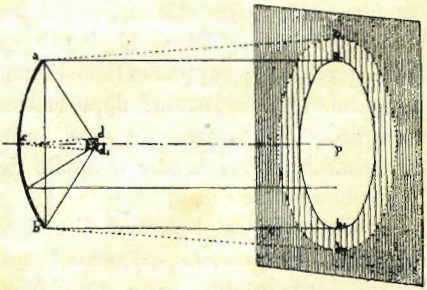



Fig. 73.

profilo dello specchio, il punto centrale $C$ chiamasi il *vertice* e la retta $C P$, intorno alla quale lo specchio è simmetrico, l'*asse ottico*. Su quest'asse esiste un punto $F$ detto *fuoco*, il quale gode la proprietà che se si pone in esso una sorgente luminosa, i raggi da questa emessi che incontrano lo specchio, vengono riflessi in direzione parallela all'asse; dimodochè se il fascio di raggi riflesso viene proiettato su di una parete, esso vi illumina un disco di diametro $a_1 b_1$ eguale a quello dello specchio. Però, perchè ciò avvenga, è necessario che la sorgente sià piccolissima, un vero punto luminoso; se invece la sorgente, come è sempre di necessità in pràtica, non è un punto, ma ha una certa estensione, allora i raggi riflessi non sono più tutti paralleli all'asse ottico, ma formano un fascio leggermente divergente e, quindi, la zona illuminata sulla parete è tanto più estesa, quanto più lontana, essa parete, si trova dallo specchio. Supponiamo che la sorgente luminosa sia un disco di diametro $d d_1$; congiungiamo $C$ con $d$ e $d_1$, e dal punto $a$ conduciamo una parallela a $C d$ e da $b$ una parallela $C d_1$; le rette $a a_2$ e $b b_2$ rappresentano l'andamento che assumeranno i raggi estremi dopo riflessi dallo specchio; cosicchè, sulla parete, non sarà più illuminato un disco di diametro $a_1 b_1$, eguale a quello dello specchio, ma bensì di diametro $a_2 b_2$.

La distanza fra il vertice $C$ e il fuoco $F$ dicesi la *distanza focale* dello specchio; l'angolo che formano fra di loro le due rette $a a_2$, $b b_2$ prolungate fino ad incontrarsi, *la divergenza del fascio*. Notiamo che

quest' angolo è uguale a quello fatto dalle due rette $Cd$ e $Cd_1$ e che ordinariamente è di 2 a 3 gradi.

Per formarci un' idea di quanto un proiettore valga a rinforzare l'intensità luminosa, consideriamo la fig. 74.

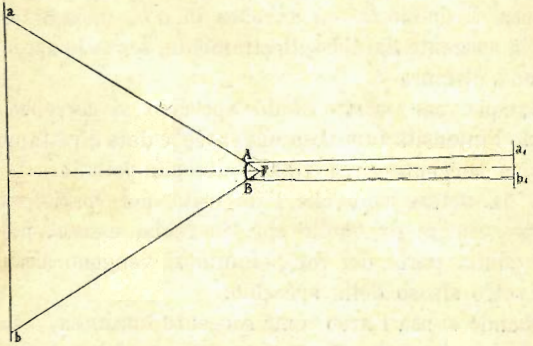



Fig. 74.

dove in $AB$ è rappresentato lo specchio e nel suo fuoco $F$ la sorgente luminosa. Tutti i raggi che partendo da $F$ vanno a battere contro lo specchio, se questo non vi fosse, andrebbero ad illuminare su di una parete posta ad una distanza qualunque $l$, un disco di diametro $ab$, mentre venendo riflessi, alla stessa distanza $l$, non illuminano che un disco di diametro $a_1 b_1$. È tntta la quantità di luce che andrebbe a cadere sulla grande superficie $ab$, che viene concentrata sulla piccola superficie $a_1 b_1$ e quindi su quest' ultima si deve, di necessità, avere una illuminazione molto più intensa che

in $a\,b$; approssimativamente tante volte più intensa quante volte la superficie del disco $a\,b$ sta nella superficie del disco $a_1\,b_1$. Supponiamo che la superficie del disco $a\,b$ sia 1000 volte quella del disco $a_1\,b_1$, l'illuminazione su quest'ultimo sarà 1000 volte circa più intensa di quella che si avrebbe in $a\,b$, ossia di quella che la sorgente darebbe direttamente, senza lo specchio, ad una distanza $l$.

Dunque per effetto dello specchio si avrebbe *nel fascio* l'intensità luminosa che sarebbe data direttamente da una sorgente circa 1000 volte più potente.

È da notare però che l'intensità nel fascio riesce un po' minore di quello che dovrebbe essere, perchè una quinta parte dei raggi luminosi vengono assorbiti dal vetro stesso dello specchio.

Quando si usa l'arco come sorgente luminosa, bisogna far in maniera che il cratere rimanga affacciato allo specchio e perciò o si inclinano i carboni, o si dispongono secondo l'asse ottico. In tal modo, poichè la parte più luminosa è il cratere, si può ritenere che la sorgente abbia la forma approssimativamente di disco come abbiamo ammesso nel considerare l'effetto prodotto dagli specchi.

32. — Di mano in mano che l'arco funziona, i carboni consumano ed è perciò necessario avvicinarli continuamente perchè l'arco non si spenga. Questo avvicinamento spesse volte, e specialmente per gli archi potenti dei proiettori, si fa a mano; i due carboni sono coman-

dati da due viti, una destra una sinistra, poste sul medesimo asse che si gira lentamente in modo da mantenere le punte sempre a ugual distanza. Se i carboni hanno ugual diametro, e quindi consumano uno il doppio dell'altro, la vite che comanda il carbone positivo deve aver passo doppio di quella che comanda il negativo; se i carboni hanno diametro diverso e consumo eguale, le viti devono aver passo eguale.

Molte volte, come nelle lampade per illuminazione stradale, non è possibile che l'avvicinamento sia fatto a mano ed allora lo si ottiene automaticamente mediante i *regolatori*, i quali sono impiegati anche per gli archi potenti dei proiettori per ottenere maggior regolarità di funzionamento. Non possiamo neppur lontanamente entrare nella descrizione degli innumerevoli e spesso ingegnosissimi regolatori ad arco; dovremo accontentarci di un cenno sul principio su cui sono fondati.

Abbiamo detto che allorquando si allontanano i carboni, diminuisce l'intensità di corrente e nello stesso tempo aumenta la differenza di potenziale; allorquando i carboni si avvicinano aumenta l'intensità e diminuisce la differenza di potenziale. Si possono far agire o l'una, o l'altra, o tutte due insieme queste variazioni per produrre l'avvicinamento dei carboni.

Alcuni regolatori funzionano quando l'intensità varia, e si chiamano *regolatori in serie.*

Altri funzionano per la variazione della differenza di potenziale fra i carboni e si dicono, *regolatori in derivazione.*

Altri agiscono sia per la variazione dell' intensità della corrente che per quella della differenza di potenziale fra i carboni, e si chiamano *regolatori differenziali.*

I regolatori in serie sono oggi giorno pochissimo usati; di quelli in derivazione è molto in uso quello a nastro di Siemens, di cui faremo un cenno.

Il carbone positivo (figura 75) tende a scendere per il peso del suo portacarbone, sorretto da un nastro di rame, che serve anche a portar la corrente e che si avvolge sul tamburo *b*. Se questo tamburo fosse libero di girare, il nastro si svolgerebbe e il carbone precipiterebbe, ma esso è trattenuto da una serie di ruote d'ingranaggio frenate dal bilanciere a scappamento *a*, il quale resta impigliato sotto la squadretta *d*. Il tamburo, le ruote, il bilanciere, sono montati su di un telaio *T* girevole intorno al perno *C*

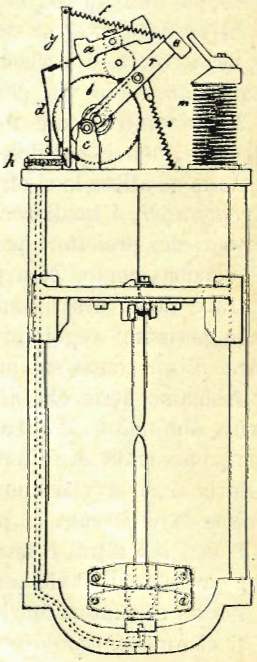


Fig. 75.

e trattenuto dalla molla *f*. L'elettrocalamita *m* è messa in derivazione ai poli della lampada.

Supponiamo la lampada in funzione; col consumarsi dei carboni, l'arco si allunga, e aumenta, in conseguenza, la differenza di potenziale ai poli della lampada e l'intensità della corrente che circola nell'elettrocalamita *m*. Questa attira ognor più l'ancora di ferro dolce *e* e fa scendere il telaio e quindi il carbone positivo.

Continuando il consumo del carbone, arriverebbe un punto in cui il giuoco del telaio non basterebbe più a compensarlo e l'arco si spegnerebbe. Senonchè viene prima un momento in cui il bilanciere scapola di sotto alla squadra *d* ed allora oscilla liberamente, lascia girare il tamburo *T* e quindi svolgere del nastro. Ma allora l'arco diventa d'un tratto troppo corto; la differenza di potenziale diminuisce; diminuisce l'azione dell'elettrocalamita *m*; il telaio si rialza; il bilanciere si impegna un'altra volta sotto la squadra *d* e ricomincia il giuoco come prima.

Col tipo che abbiamo descritto si è voluto dar un'idea sul modo di funzionare dei regolatori. Non è qui il luogo di far neppure un cenno degli innumerevoli tipi esistenti, che del resto si comprendono sempre facilmente.

---

## CAPITOLO X.

33. — Dobbiamo ora fare un cenno di un' altra applicazione della corrente elettrica non meno importante di quelle di cui abbiamo fino ad ora parlato. Il principio su cui si fonda questa applicazione è il seguente: se in una dinamo si manda la corrente di un altro generatore qualsiasi, l' indotto assume un movimento di rotazione, e poichè questo movimento dell' indotto può essere utilizzato a muovere una macchina utensile, a sollevare un peso, a far agire un ventilatore e in generale a produrre un lavoro, la dinamo, quando sia percorsa dalla corrente di un altro generatore, diventa un vero e proprio motore elettrico.

Qualunque dinamo, di qualunque tipo, può diventar un motore, per cui le stesse distinzioni che abbiamo fatto per le dinamo, le potremo fare per i motori; rispetto al campo, possiamo distinguerli in motori a due, a quattro e più poli; rispetto agli avvolgimenti in motori *a avvolgimenti in serie*, *in derivazione* e *compound*.

Secondo i casi e lo scopo da raggiungere è preferibile uno e l'altro di questi tre tipi di motori. Quando nel primo momento in cui entra in azione il motore deve vincere una grande resistenza, si preferisce il tipo in serie. Sarebbe questo il caso di un motore impiegato a muovere una vettura di tramway, dove al primo momento è necessario un grande sforzo per muovere e imprimere la voluta velocità alla vettura; un altro caso simile sarebbe quello di un motore elettrico impiegato a manovrare una torre d'artiglieria; anche qui, per l'enorme peso da metter in moto, lo sforzo da principio è molto grande e perciò è preferibile il motore in serie.

È ancora da preferire il motore in serie quando lo sforzo da vincere resta sensibilmente costante, come sarebbe nel caso di un ventilatore elettrico. In questo caso da principio non vi è una grande resistenza da vincere, anzi da principio la resistenza è assai piccola e va aumentando colla velocità della ruota; ma raggiunto un certo valore resta costante. Perciò è preferibile il motore in serie, che é il più semplice.

Quando lo sforzo da vincere non si mantiene sempre lo stesso, è preferibile il motore in derivazione perchè non tende a precipitare. Supponiamo che il motore sia impiegato a sollevare dei carichi; in certi momenti il carico può essere piccolo e in certi altri può esser molto rilevante; se il motore è in serie, la velocità aumenta considerevolmente quando il carico diminuisce; invece un motore in derivazione sia col carico grande

che col carico piccolo conserva sensibilmente sempre la stessa velocità.

Però il motore in derivazione ha l'inconveniente che non è atto a vincere la resistenza che si oppone quasi sempre al primo istante e perciò nella maggior parte dei casi si preferisce il motore compound, il quale, come la dinamo, è un complesso formato di motore in serie e di motore in derivazione. Godendo delle proprietà del motore in serie può vincere la resistenza del primo momento e godendo delle proprietà del motore in derivazione, non varia molto la velocità col cambiare del carico.

I motori possono essere alimentati in *serie,* ossia tutti inseriti nello stesso circuito in modo da esser tutti percorsi dalla stessa corrente (§ 14); o in *derivazione,* cioè in circuiti derivati dai poli del generatore, o dai conduttori principali di un circuito, in maniera da trovarsi tutti con la stessa differenza di potenziale ai serrafili.

In serie non possono essere alimentati nè i motori ad avvolgimento in derivazíone, nè quelli ad avvolgimento compound, ma solo quelli ad avvolgimento in serie e, anche per questi, tale disposizione non si usa che in certi casi speciali, quando cioè vi sieno delle grandi distanze fra la dinamo generatrice e i motori da alimentare. Più generalmente si usa la distribuzione in derivazione.

34. — Di un motore occorre spesso variare la velocità e qualche volta anche la direzione del movimento.

Per variare la velocità bisogna inserire nel circuito derivato che comprende il motore, una resistenza va-

riabile come è indicato schematicamente nella fig. 76.

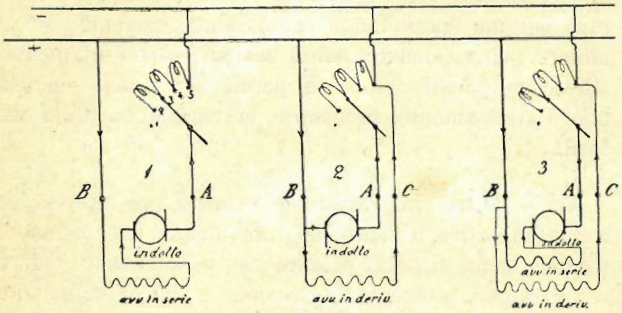



Fig. 76.

Quando il manubrio sia in *1* il circuito è aperto e il motore è fermo; col manubrio in *2* la corrente passa per tutta la resistenza e il motore assume la più piccola velocità. Nelle posizioni *3 4* le resistenze incluse sono minori e quindi le velocità maggiori; nella posizione *5* è esclusa dal circuito qualunque resistenza e quindi il motore assume la sua massima velocità.

Nei motori in derivazione e nei motori compound la resistenza si inserisce solo nel circuito che comprende l'indotto e non in quello dell'eccitazione in derivazione, come è schematicamente rappresentato nelle fig. 76, 2, 3. La corrente al serrafili *B* del motore si divide; una parte passa per l'indotto, va al serrafili *A*, da questo al reostato e poi ritorna al circuito principale; una parte passa per l'avvolgimento in derivazione, da questo va al serrafili *C*, dal quale torna al circuito senza passare per il reostato.

Queste resistenze destinate a variare la velocità del motore devono essere costruite in modo da poter tollerare per un tempo lungo la massima corrente che il motore può richiedere, senza scaldarsi soverchiamente. Riescono quindi costosi e perciò si evitano quando non è strettamente necessaria la variabilità della velocità.

35. — Oltre che variare le velocità può interessare anche invertire il senso del movimento, ma prima di studiare come si possa ottenre ciò, è opportuno vedere come si può ottenere l'inversione o il rovesciamento della corrente.

Abbiasi un apparecchio elettrico, un motore, una resistenza, un elettromagnete, alimentato, per esempio, da una derivazione $T\,T_1$ (fig. 77) presa dal circuito principale $c\,z$, di cui poniamo sia $c$ il conduttore positivo.

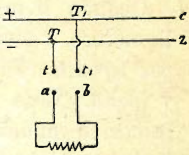


Fig. 77.

Nell'apparecchio la corrente deve essere mandata una volta in un senso e una volta in senso inverso, ossia una volta deve entrare da $b$ ed uscire da $a$ e l'altra entrare da $a$ e uscire da $b$.

Se immaginiamo che il circuito derivato sia tagliato nei punti $a\,b\,t\,t_1$, evidentemente perché sia soddisfatta la prima condizione, ossia che la corrente entri per $b$ ed esca per $a$, basterà collegare $a$ con $t$ e $b$ con $t_1$; perchè sia invece soddisfatta la seconda condizione,

ossia che la corrente entri per *a* ed esca per *b* bisognerà metter in comunicazione *b* con *t* e *a* con $t_1$.

Questo scambio di attacchi si fa in pratica in un infinità di maniere diverse che si comprendono a prima vista; faremo brevemente cenno di una soltanto.

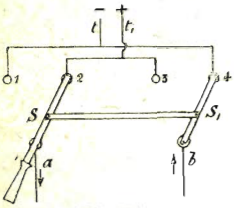


Fig. 78.

Due commutatori $SS_1$ (fig. 78) hanno i loro manubri collegati in modo che quando si porta quello di *S* sull' appoggio *1*, quello di $S_1$ si porta sull'appoggio *3*; e quando quello di *S* è in *2*, quello di $S_1$ é in *4*. L'asticella che unisce i due manubri è in ebanite o in altra sostanza isolante, in maniera da non stabilire comunicazioni melalliche fra i due commutatori. Ora senza altro si vede, che nella posizione indicata dalla figura, e riferendoci alla fig. 77, la corrente entra per *a* e esce per *b* e che, se si girano i commutatori in modo da portar i manubri su i contatti *1* e *3*, la corrente entra per *b* ed esce per *a*.

Un apparecchio come quello a cui abbiamo fatto cenno chiamasi un *invertitore di corrente*.

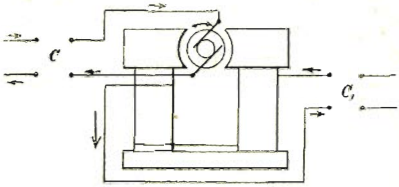


Fig 79.

Premesso ciò, consideriamo un motore elettrico e serviamoci di due sorgenti diverse per mandar la corrente negli elettromagneti e nell'in-

dotto, come schematicamente è rappresentato nella fig. 79.

Sia nel circuito degli elettromagneti, che in quello dell'indotto, introduciamo un invertitore di corrente $C$ e $C_2$.

Cominciamo dal mandar le correnti in determinate direzioni, per esempio in quelle indicate dalle freccie; l'indotto girerà, supponiamo, nel senso della freccia.

Invertiamo ora la corrente sia nell'indotto che negli induttori; troveremo che la direzione del movimento dell'indotto resta sempre la stessa indicata dalla freccia.

Invertiamo invece solo la corrente nell'indotto o solo nell'induttore e il moto si invertirà, ossia l'indotto ruoterà nel senso contrario a quello indicato dalla freccia.

Dunque *per invertire il movimento di un motore elettrico è necessario invertire la corrente o solo nell'indotto o solo negli induttori;* se si inverte la corrente nell'uno e negli altri, il movimento resta lo stesso.

Generalmente si preferisce invertire la corrente nel solo indotto e nella fig. 80 sono schematicamente rappresentate le disposizioni dei circuiti per i tre casi di motori in serie, in derivazione e compound.

In $a a_1$ $b b_1$ sono rappresentati gli invertitori i quali stabiliscono le comunicazioni $a b$, $a_1 b_1$ oppure le $a b_1$, $a_1 b$, e si vede facilmente, che nel primo caso la corrente entra nell'indotto dal serrafili $A$ ed esce per $B$, andando nel senso delle freccie, e nel secondo caso entra per $B$ ed esce per $A$ andando in senso contrario alle freccie, nel mentre negli avvolgimenti degli induttori essa mantiene sempre la stessa direzione.

A differenza che nelle dinamo, nei motori le spazzole devono trovarsi spostate indietro rispetto alla direzione del moto. Ciò non presenta difficoltà quando il motore deve muovere sempre in un senso, come nel caso dei ventilatori. Ma quando il movimento deve

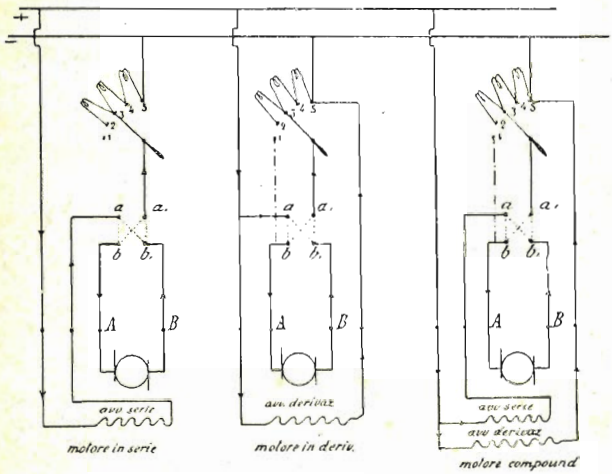



Fig. 80.

aver luogo nei due sensi, si dovrebbe ad ogni inversione di movimento spostare le spazzole, ciò che non sarebbe pratico. Si preferisce tenerle fisse sulla linea normale al campo, ossia in una posizione che non è la più favorevole nè per la marcia avanti nè per la marcia

indietro, ma è intermedia fra le due, e, in tal caso, si usano generalmente dei blocchetti di carbone, perchè le spazzole metalliche, nel cambiamento di moto, potrebbero arricciarsi e procurare delle avarie.

36. — Molto importante ed istruttiva è la seguente esperienza.

Un motore elettrico trovasi in un circuito derivato da una conduttura a differenza di potenziale costante e, nello stesso circuito derivato, è inserito un amperometro, che indica ad ogni istante l'intensità della corrente che attraversa il motore. L'indotto gira libero con grande velocità senza compiere nessun lavoro, nessuna resistenza opponendosi al suo movimento.

Procuriamo ora di opporre, in un modo qualunque, della resistenza al movimento dell'indotto, per esempio facendo contrasto sull'albero o sulla puleggia con una tavola, così che il motore deva fare uno sforzo per vincere l'attrito contro questa tavola. La velocità naturalmente diminuisce e, osservando l'amperometro, vediamo che invece l'intensità di corrente, che era piccolissima finchè il motore girava libero, è sensibilmente aumentata.

Aumentando ancora lo sforzo di resistenza al moto, l'intensità seguiterà sempre ad aumentare e, se riusciamo a frenare assolutamente il motore opponendogli uno sforzo tale da impedirgli di girare, vedremo la corrente assumere un'intensità esageratamente grande, al punto da riscaldare gli avvolgimenti fino a danneggiarli.

Dunque il motore assorbe un' intensità di corrente molto maggiore quando è tenuto fermo che quando gira e questo fatto, di grande importanza nella pratica, si può spiegare nel modo seguente.

Allorchè il motore funziona, l' indotto, ruotando in un campo magnetico, diventa sede di una forza elettromotrice, la quale è di senso contrario alla direzione della corrente che fa agire il motore, e si chiama comunemente *forza controelettromotrice*. Così, l' intensità di corrente è quella dovuta, non alla differenza di potenziale esistente ai serrafili del motore, ma a questa differenza di potenziale diminuita della forza controelettromotrice che si desta nell' indotto.

Per esempio un motore in serie detto di un cavallo, che funziona in derivazione da una conduttura a 110 volt, presenta 1,38 ohm circa di resistenza e sviluppa, nel suo andamento normale, una forza controelettromotrice di circa 99 volt. Dei 110 volt esistenti alla conduttura, non ne restano di efficaci a dar corrente che 11, e poichè la resistenza è di 1,38 ohm, l' intensità di corrente sarà, per la legge di Ohm, $11 : 1,38 = 8$ amp.

Supponiamo che il motore invece sia fermo; allora non esiste più la forza controelettromotrice, tutti i 110 volt sono efficaci e quindi l' intensità di corrente diventa $110 : 1,38 = 80$ amp. Un' intensità così forte non potrebbe attraversare, per un tempo anche breve, i fili che costituiscono gli avvolgimenti di un piccolo motore di un cavallo, senza rischio di rovinarli.

Nella pratica, allorquando si chiude il circuito per

metter in azione un motore elettrico, questo non può assumere subito la sua velocità; occorre qualche istante prima che cominci a muoversi, e un certo tempo prima che acquisti la velocità normale; occorre un tempo tanto più lungo, quanto più pesanti ed inerti sono gli organi che deve metter in moto. In quel breve tempo il motore potrebbe esser danneggiato dalla forte intensità di corrente.

Si rimedia a ciò inserendo nel circuito del motore una resistenza, che si va escludendo di mano in mano che il motore acquista di velocità e che si chiama *resistenza di messa in moto* o d'*avviamento*. Nessun motore elettrico deve essere istallato senza la resistenza di messa in moto.

Ritorniamo al caso del motore che abbiamo prima considerato e supponiamo che la sua resistenza di messa in moto sia di 5 ohm; allorchè si chiude il circuito del motore, la resistenza complessiva sarà ohm 6,38 e quindi l'intensità massima, nell'istante prima che cominci il moto, sarà $110 : 6{,}38 = 17{,}3$ amp.

Quest'intensità, che non è più esageratamente forte, va diminuendo appena il motore comincia a muovere; per cui si può, di mano in mano che la velocità aumenta, diminuire la resistenza di messa in moto fino a escluderla completamente. Queste resistenze in generale sono fatte per tollerare la corrente massima richiesta dal motore solamente per pochi istanti. Esse perciò non possono servire a far variare la velocità del motore perchè non ne hanno i requisiti (§ 35). Per

contro le resistenze che servono a ottenere velocità diverse, servono altresì per la messa in moto.

La resistenza di messa in moto è necessaria più che mai col motore in derivazione, giacchè col motore in serie l'avvolgimento degli elettromagneti funziona da resistenza; ed è necessaria, più che col motore in serie, anche col motore compound, perchè, in questo, l'avvolgimento in serie è formato da poche spire di filo grosso e quindi non offre resistenza sensibile.

37. — È utile accennare ancora ad un particolare che ha spesso una importanza abbastanza grande nella pratica. Allorchè si interrompe il circuito di un motore, cessa la corrente che manteneva in movimento l'indotto, ma questo continua per inerzia a girare per qualche tempo ancora. Ciò può essere un inconveniente in molti casi, nei quali occorre l'arresto immediato. Vediamo come si possa rimediarvi.

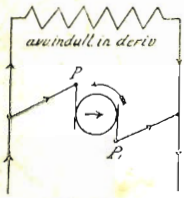



Fig. 81.

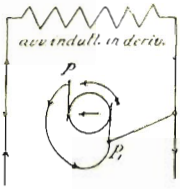



Fig. 82.

Consideriamo un motore in derivazione (fig. 81); la corrente, supponiamo, circola nel senso delle piccole freccie e l'indotto ruota nel senso della gran freccia. Allorchè vogliamo arrestare, non solo interrompiamo il circuito dell'indotto, ma chiudiamo questo su se

stesso in corto circuito, riunendo una spazzola con l'altra, come è indicato dalla fig. 82.

Abbiamo detto che nel movimento dell'indotto si sviluppa una forza controelettromotrice in senso contrario alla corrente che alimenta il motore. Quando si apre il circuito, questa corrente cessa, mentre la forza controelettromotrice continua, perchè l'indotto seguita a ruotare per inerzia, e dà origine, quando si chiude il corto circuito, ad una corrente di senso contrario a quello della corrente che manteneva l'indotto in moto. Cosichè chiudere l'indotto in corto circuito finchè è in moto, equivale a mandarvi una corrente di senso contrario. Ma se la prima corrente faceva ruotare l'indotto nel senso della freccia, la seconda tenderà a farlo ruotare in senso inverso; ossia si opporrà al movimento che ha conservato per inerzia e tenderà a fermarlo. Dunque, per avere la immediata fermata dei motori è necessario chiudere l'indotto in corto circuito.

Nella figura 80 è indicata la disposizione dei circuiti per ottenere lo scopo con un motore in derivazione e con un motore compound. Se l'appoggio *1* del reostato, anzichè essere isolato, è collegato col serrafili *A* del motore, come è indicato colla linea punto e tratto, si vede chiaramente che allorquando il manubrio è portato in *1*, non solo è interrotta la corrente che va all'indotto, ma questo è chiuso su se stesso; mentre la corrente attraversa sempre l'avvolgimento in derivazione degli induttori mantenendoli magnetizzati.

Notiamo che perchè la chiusura in corto circuito sia

efficace è necessario che il campo rimanga eccitato; nei motori in derivazione e compound quando si interrompe il circuito dell'indotto, il campo rimane sempre eccitato dal circuito in derivazione; nel motore in serie invece, interrotto il circuito, cessa l'eccitazione del campo e perciò la chiusura dell'indotto in corto circuito non può essere efficace. Mediante disposizioni complicate si può ottenere egualmente l'effetto chiudendo tutto il motore su se stesso, ma noi non possiamo estenderci a passar in rassegna queste disposizioni.

Piuttosto sarà utile che trattiamo un po' del lavoro e della potenza.

---

## CAPITOLO XI.

38. — Se noi osserviamo attentamente tutto ciò che avviene intorno a noi ci convinciamo facilmente che i corpi sono *inerti*, vale a dire oppongono della resistenza a cambiare il loro stato di moto o di quiete. Ognuno sa che una ruota girevole molto liberamente intorno al proprio asse, richiede per essere messa in moto uno sforzo tanto più rilevante quanto più essa è pesante; ma una volta messa in moto, continua a ruotare con moto quasi uniforme senza bisogno di ulteriori spinte, e continuerebbe a ruotare eternamente se non facessero ostacolo al moto l'attrito sui perni e l'aria stessa. Volendola arrestare, bisogna opporvi un nuovo sforzo contrario al moto; volendo aumentare la sua velocità, bisogna darle una seconda spinta nel senso del moto. Quella ruota dunque oppone resistenza sia a passare dal suo stato di quiete a quello di moto, che a diminuire o a aumentare la sua velocità; ossia tende a conservare continuamente lo stato in cui si trova.

Allorchè un treno ferroviario parte, è necessario che il macchinista dia tutto il vapore, perchè la massa del

treno oppone resistenza ad essere messa in moto; raggiunta la velocità prescritta, l'introduzione del vapore viene limitata, bastando quel tanto che è necessario a vincere gli attriti dei perni e dell'aria; allorchè si deve arrestare, è indispensabile chiudere i freni per presentare delle resistenze al moto delle ruote, altrimenti il treno, per inerzia, tenderebbe a conservare la velocità acquistata. Come questo, molti altri fatti dimostrano l'inerzia dei corpi. Chi non sa che allorquando un treno si ferma bruscamente i viaggiatori sono proiettati in avanti? Un uomo in corsa, solo che incontri il più piccolo inciampo, cade, perchè il suo piede è arrestato dall'ostacolo, mentre il corpo, che tende a mantenere la velocità, viene portato in avanti.

Ma oltre la velocità, un corpo in moto tende a mantenere anche la sua direzione; esso tende ad andare sempre in linea retta nella stessa direzione e la prova di ciò si ha dal fatto, che allorquando una vettura cambia bruscamente di direzione, le persone che vi si trovano dentro sono bruscamente spinte da un lato. Se un uomo che corre vuole cambiare di direzione, deve rallentare la sua corsa per non correre serio rischio di cadere.

L'inerzia della materia si osserva non solo nei corpi considerati nel loro insieme, ma ancora nelle parti che compongono il corpo. Allorchè un corpo emette un suono, alcune parti di esso vibrano e comunicano le vibrazioni all'aria, la quale le trasmette al nostro orecchio dandoci l'impressione del suono.

Se le vibrazioni del corpo sonoro si arrestano dopo un certo tempo, si è che esse incontrano una grande resistenza nell'aria e che i corpi non sono mai perfettamente elastici; ma se il corpo sonoro fosse perfettamente elastico e vibrasse fuori dell'aria, sotto una campana pneumatica, continuerebbe a vibrare per un tempo indefinito.

Ed anche nelle minime particelle che compongono il corpo si verificano ancora i fenomeni di inerzia. — I corpi non sono formati di una materia compatta e uniforme, ma bensì di un aggregato di innumerevoli particelle estremamente piccole, invisibili con qualunque apparecchio d'ingrandimento, dette *molecole*, le quali non sono ferme, ma si muovono continuamente restando però sempre dentro al corpo.

La velocità con cui si muovono le molecole nell'interno dei corpi naturalmente non può essere misurata, ma abbiamo un criterio per sapere se essa è più o meno grande dalla *temperatura*. — Quanto più è elevata la temperatura d'un corpo, tanto più grande è la velocità delle molecole, e quando noi riscaldiamo un corpo, non facciamo che aumentare la loro velocità.

Parrebbe che in questo caso non fosse applicabile il principio dell'inerzia, perchè un corpo caldo in un tempo più o meno breve si raffredda. Ma noi sappiamo altresì che un corpo si raffredda perchè trasmette il suo calore ai corpi circostanti; e che se lo copriamo con lana o con cotone in maniera di diminuire la quantità di calore che esso trasmette, si raffredda molto

più lentamente. Se si potesse in qualche modo impedire completamente la trasmissione del calore, esso si conserverebbe eternamente alla stessa temperatura.

Dunque l'inerzia ossia la tendenza a conservare lo stato attuale di quiete o di moto, vige non solo per i corpi le cui dimensioni cadono sotto i nostri sensi, ma anche per le molecole, ossia per le minime particelle che compongono i corpi.

39. — Per variare lo stato di moto bisogna ch'intervenga una causa estranea al corpo e questa causa si chiama una *forza*. Per fare entrare in moto la ruota di cui abbiamo prima parlato, bisogna che noi la spingiamo e l'accompagniamo per un certo tempo; abbandonata in seguito tende a mantenere il suo stato di moto. Perchè un treno parta è necessario che la pressione del vapore faccia forza sullo stantuffo della locomotiva. È la forza del vento sulle vele che mette in moto una nave. Il peso di un corpo è una forza, giacchè se il corpo è lasciato libero, cadendo per effetto del suo peso, acquista una certa velocità.

È però necessario aver presente una distinzione molto importante e cioè che le forze *sono capaci* di produrre l'alterazione dello stato di moto, ma esse esistono anche se questa variazione di moto non avviene. — Un corpo posato su di un sostegno sta in quiete perchè al peso, cioè alla forza che *potrebbe* metterlo in moto, fa ostacolo il sostegno. Tolto questo, la forza può estrinsecarsi ed il corpo si mette in moto. — La pres-

sione nell' interno delle caldaie di una locomotiva è la forza che *può* mettere in moto il treno, ma resta senza effetto finchè, aprendo la valvola di introduzione, non le si dà modo di agire sullo stantuffo e quindi sulle ruote motrici. — La pressione esercitata da una colonna d' acqua è una forza che *può* mettere in moto una ruota a pale, una turbina o altro, ma resta inattiva finchè non si faccia affluire l'acqua sulle ruote o altra macchina che sia.

Dunque la forza è capace di produrre un'alterazione di moto, ma non sempre la produce. — Allorchè si estrinseca e produce l'alterazione di moto, si dice che essa compie *lavoro*.

Se per mettere in moto la ruota di cui abbiamo parlato sopra, le diamo l'impulso sulla periferia accompagnandola per mezzo giro, per esempio, la nostra forza muscolare ha agito o *ha lavorato* per quel tratto di circonferenza. — Se un grave casca da 10 metri d'altezza sul suolo sottostante, la forza peso ha lavorato per 10 metri d'altezza. — La forza pressione del vapore sullo stantuffo, per mandar questo da un estremo all'altro del cilindro ha lavorato per tutta la lunghezza del cilindro stesso. — La forza che esercita un cavallo per trainare un carro, lavora per tutto il cammino percorso dal carro.

Dunque, nella manifestazione del lavoro compiuto da una forza, entrano sempre la forza stessa ed uno spazio percorso, e per misurare il lavoro dovremo misurare queste due quantità. — La misura della lunghezza non

presenta difficoltà e sappiamo come si prenda per unità il metro; per misurare le forze si confrontano con quella che è più conosciuta, più comune, che più ha importanza nella vita, ossia col peso, e si prende per unità il chilogrammo, vale a dire il peso di un litro d'acqua.

Per confrontare le forze col peso servono i dinamometri, di cui una forma è quella rappresentata schematicamente nella fig. 83. Due molle a balestra sono riunite ai loro estremi, e ad esse sono fissati verso l'esterno due ganci e verso l'interno due piccoli regoli che restano vicini l'uno all'altro; su uno di questi regoli, per esempio sull'inferiore, è tracciato un segno di riferimento. Sospendiamo l'apparecchio così fatto per uno dei suoi ganci e all'altro gancio attacchiamo un piatto su cui si possano caricare dei pesi. Cominceremo dal metter nessun peso sul piatto e sul regolo superiore tracceremo un segno in corrispondenza al segno del regolo inferiore e marcheremo a fianco *O*. Poi metteremo un chilogrammo sul piatto; le molle si allargheranno; i due segni che prima si corrispondevano non si corrispondono più; marcheremo un altro segno sul regolo superiore in corrispondenza al segno del regolo inferiore e scriveremo a fianco *1*. Ripetendo l'operazione con peso

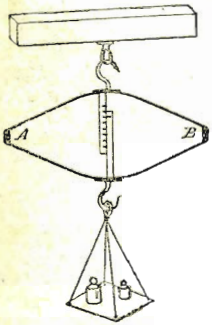


Fig. 83.

doppio, triplo ecc., avremo il dinamometro graduato in chilogrammi.

Se ora si vuole conoscere la forza di trazione che un uomo può esercitare con le sue braccia, basta fissare il dinamometro a un punto fisso, a una parete, con uno dei due ganci e fare che l'individuo tenda il dinamometro attaccandosi all'altro gancio; i segni tracciati dai due regoli ci indicheranno subito a quanti chilogrammi equivale lo sforzo fatto. — Interponendo un dinamometro fra la locomotiva e il treno si potrebbe misurare lo sforzo necessario a trainare e così via.

Dei dinamometri ne esistono di forme svariatissime tutte fondate press'a poco sullo stesso principio; a noi basta aver veduto come una forza possa esprimersi in chilogrammi.

Anche una pressione, per esempio quella di una caldaia a vapore, si può valutare in chilogrammi nel modo seguente.

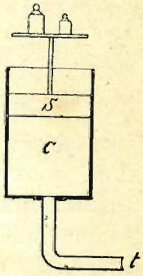


Fig. 84.

In un cilindro $C$ (fig. 84) che comunica con la caldaia mediante il tubo $t$, può scorrere uno stantuffo $s$, il quale porta superiormente un piatto su cui si possono caricare dei pesi. Evidentemente per effetto della pressione che si esercita solamente sotto allo stantuffo, questo tende a sollevarsi e per impedirglielo si dovrà caricare un certo numero di pesi. Allorchè l'equilibrio è raggiunto, il peso aggiunto sul piatto, più quello

dello stantuffo e del piatto, sono equivalenti alla forza fatta dal vapore sulla faccia inferiore dello stantuffo, la quale forza è così espressa in chilogrammi. Però dobbiamo osservare che la forza fatta dalla pressione dipende dalla superficie dello stantuffo; più grande è la superficie di questo, più grande è la forza esercitata dal vapore.

Se nell'esperienza accennata si fosse trovato che occorrevano 50 chilogrammi per avere l'equilibrio e la superficie dello stantuffo fosse stata di 10 centimetri quadrati, si sarebbe dedotto che la forza esercitata dal vapore era di 50 kg. per ogni 10 centimetri quadrati, ossia di 5 kg. per ogni centimetro quadrato. Per esprimere la pressione in una caldaia o in un serbatoio d'aria compressa, si indica appunto la forza esercitata su di una superficie di un centimetro quadrato e vi sono degli istrumenti detti manometri che la indicano direttamente.

È chiaro poi come una volta che sia nota la forza per ogni centimetro quadrato, è subito dedotta la forza che si esercita su di uno stantuffo o su di una superficie qualunque, moltiplicando per la superficie premuta.

Conosciuta che sia una forza in chilogrammi, per misurare il lavoro che essa fa quando si estrinseca, si moltiplica il valore della forza stessa per lo spostamento, ossia per il cammino percorso dal corpo a cui essa è applicata, e si assume come unità il *chilogrammetro*, che è il lavoro fatto dalla forza di un chilogrammo

che si sposta di un metro. Consideriamo gli esempi che abbiamo prima citati.

Per metter in moto la ruota abbiamo esercitato sulla periferia uno sforzo, che supponiamo fosse di 15 kg., e prima di abbandonarla l'abbiamo accompagnata per mezzo giro. Ammettiamo che la ruota avesse un diametro di $1^m$; la sua periferia era di m. 3,14 e quindi, accompagnandola per mezzo giro, la nostra mano ha esercitato lo sforzo di 15 chilogrammi per m. 1,57. Il lavoro fatto della nostra forza muscolare fu quindi di $15 \times 1{,}57 = 23{,}55$ chilogrammetri.

Se un cavallo per trainare un carro deve esercitare uno sforzo equivalente a 80 chilogrammi, e traina quel carro per 500 metri, il lavoro che esso avrà compiuto a fin di corsa sarà di $500 \times 80 = 40000$ chilogrammetri.

Lo stantuffo di una macchina a vapore abbia una superficie di 700 centimetri quadrati; la pressione media del vapore sia di 5 kg. e la corsa dello stantuffo sia di $0^m{,}17$. La forza totale esercitata sullo stantuffo è di $700 \times 5 = 3500$ chilogrammi e il lavoro fatto in ogni corsa di $3500 \times 0{,}17 = 395$ chilogrammetri.

Se una locomotiva per trainare un treno deve esercitare uno sforzo di 2000 chilogrammi, e percorre 4500 metri, il lavoro che essa compie è di $4500 \times 2000 = 9000000$ di chilogrammetri.

Potremmo moltiplicare gli esempi se non fosse già abbastanza evidente come va misurato il lavoro fatto da una forza.

40. — Osserviamo invece che un lavoro può essere fatto in un tempo più o meno lungo e che, il tempo impiegato, è un fattore troppo importante perchè non se ne debba tener conto. Se la locomotiva, che prima abbiamo supposta, fosse capace di percorrere i 4500 metri in 5 minuti ed un'altra, con lo stesso treno, non vi impiegasse meno di 10 minuti, noi diremmo che la prima è più *potente* della seconda. La prima per ogni unità di tempo, ossia per ogni secondo, svilupperebbe un lavoro di $9000000 : 300 = 30000$ chilogrammetri, essendo $5 \times 60 = 300$ i minuti secondi impiegati nello sviluppare tutto il lavoro; la seconda invece svilupperebbe $9000000 : 600 = 15000$ chilogrammetri al minuto secondo. Dunque per esprimere la potenza di una macchina, o di qualunque altra sorgente di lavoro, è necessario indicare il lavoro che essa è capace di compiere in un minuto secondo e che chiamasi appunto la *potenza* della macchina. Cosichè si direbbe che la prima locomotiva può sviluppare, o semplicemente ha, una *potenza* di 30000 chilogrammetri al secondo, e la seconda di 15000.

Ordinariamente poi si usa, per esprimere la potenza, un'unità detta *cavallo*, che equivale alla potenza di 75 chilogrammetri al secondo; per cui, invece di dire che la prima locomotiva sviluppa la potenza di 30000 chilogrammetri al secondo, si può dire più semplicemente, che sviluppa la potenza di $\frac{30000}{75} = 400$ cavalli; e la seconda di $\frac{15000}{75} = 200$ cavalli.

È conveniente fissare bene l'attenzione sul fatto che la potenza dipende dal valore, dalla forza e dallo spazio percorso in un minuto secondo e, quindi, essa può variare o perchè variano tutti e due questi elementi, o perchè varia l'uno, o perchè varia l'altro.

Un caso in cui resta costante uno di questi elementi è quello delle macchine a vapore collegate alle dinamo, le quali, per ragioni che vedremo in seguito, sono munite di un organo speciale destinato a mantenere costante la velocità, detto *regolatore di velocità*.

Non è a credere che restando costante la velocità, resti costante la potenza sviluppata dal motore; a seconda del bisogno, il regolatore fa variare la pressione media che si esercita sullo stantuffo, in maniera che, se il cammino percorso resta lo stesso, varia però la forza.

Supponiamo che a una dinamo di 100 A. e 65 volt sia collegato un motore la cui velocità è costantemente di 300 giri al minuto, ossia 5 giri al minuto secondo. La pressione media nell'interno del cilindro, allorchè la dinamo sviluppa 100 amp., sia di 3 kg. per centimetro quadrato; la superficie dello stantuffo sia di 236 cent. quad., e la corsa di $0^m,17$.

Poichè nel far 5 giri lo stantuffo fa 10 corse, il lavoro fatto in un secondo sàrà uguale a $230 \times 3 \times \times 0,17 \times 10 = 1173$ chilogrammetri-secondo, equivalenti, a $1173 : 75 = 15,7$ cavalli.

Se la corrente che si richiede dalla dinamo viene ridotta a 30 amp., il regolatore di velocità fa in modo che la pressione nell'interno del cilindro diminuisca e

si riduca, supponiamo, a circa 0,9 chilogrammi per centimetro quadrato. Allora, poichè i giri sono sempre gli stessi, la potenza diventa $230 \times 0{,}9 \times 0{,}17 \times 10 = 3519$ chilogrammetri al secondo, equivalenti a $3521 : 75 = 4{,}7$ cavalli.

Non è difficile sentir dire di una macchina a vapore, che essa è di *tanti* cavalli di *forza*. È questa una dicitura assolutamente erronea che bisogna guardarsi dal ripetere; si deve dire che è una macchina della *potenza di tanti* cavalli.

41. — Vogliamo ora considerare gli effetti del lavoro fatto da una forza, e, a tale scopo, prenderemo in esame alcuni esempi.

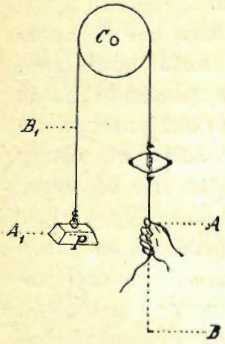


Fig. 85.

Supponiamo di sollevare mediante una fune avvolta su di una carrucola $C$ (fig. 85), un peso $P$. La forza attiva è la forza muscolare che si esercita verso il basso, e, poichè per sollevare il peso la mano ha dovuto spostarsi da $A$ in $B$, il valore di detta forza, moltiplicato per lo spostamento $A\,B$, dà il lavoro che essa ha compiuto. Per effetto di questo lavoro il corpo $P$, si solleva da $A_1$ in $B_1$, in senso contrario al peso che lo sollecita dall'alto al basso. Dunque l'effetto del la-

voro fatto dalla forza muscolare, è stato quello di far muovere il corpo in senso inverso a quello dell' altra forza, il peso che su di esso agiva. Quando, come in questo caso, un corpo si sposta in senso contrario a quello di una forza, che su di esso agisce, si dice che vien fatto un *lavoro resistente*, che si misura sempre col prodotto della forza per lo spostamento.

Supponiamo che il peso $P$ sia di 20 kg. e che lo spostamento $A_1 B_1$ sia di m. 1,5; il lavoro resistente compiuto sarà di $20 \times 1{,}50 = 30$ chilogrammi.

Se si volesse conoscere quale lavoro *attivo* ha dovuto compiere la forza muscolare per ottenere il detto lavoro resistente, dovremmo inserire nella fune un dinamometro, valutare la forza muscolare in chilogrammi e moliplicarla per lo spostamento $A B$.

Ora, se si fa questa misura, si trova che il lavoro attivo, ossia il lavoro fatto dalla forza muscolare, è sensibilmente maggiore del lavoro resistente vinto, e questo maggiore lavoro speso in confronto al lavoro resistente, va impiegato a vincere gli attriti dei perni e la resistenza che offrono le funi ad essere piegate.

Infatti ognuno sa che qualunque perno di una macchina in moto, in proporzioni maggiori o minori secondo che è più o meno ben lavorato e lubricato, presenta dell'attrito e si scalda, e che qualunque fune sfregata o piegata, presenta della resistenza e si scalda; e sappiamo pure che un aumento di temperatura non

è altro che una variazione di moto delle molecole, la quale non può aver luogo senza l'azione di una forza, ossia senza spesa di lavoro.

Dunque, ogni qualvolta una forza fa un lavoro attivo, una parte di questo lavoro può andar impiegata a compiere un lavoro resistente; una parte va impiegata a sviluppare del calore.

Di queste due parti alcune volte manca completamente la prima e allora tutto il lavoro va impiegato a sviluppare del calore. È questo il caso di un treno ferroviario che corre in piano; tutto il lavoro fatto dal vapore va trasformato in calore che si sviluppa per gli attriti dei perni, per i movimenti delle rotaie, per la resistenza dei freni al momento dell' arresto. È pure questo il caso di una motrice d'officina; tutto il lavoro attivo del vapore si trasforma in calore per gli attriti delle trasmissioni e per le resistenze che incontrano gli utensili ad intaccare i metalli.

Non può mai mancare la seconda parte; perchè, in qualunque modo si faccia un lavoro, si devono avere delle ruote in moto, dei pezzi sfreganti, delle corde o delle cinghie che si piegano e quindi degli attriti e del calore che va sperso e non si utilizza.

Ne viene che il lavoro resistente è sempre minore di quello attivo, ed è assurdo il pensare al moto perpetuo, il quale ammette l'esistenza di una macchina in cui ad un lavoro attivo fatto corrisponda un lavoro resistente esattamente eguale. Bisognerebbe che quella macchina non trovasse nessun attrito, ossia non avesse nè

ruote, nè leve, nè funi, nè cinghie e lavorasse fuori dell'aria, nel vuoto assoluto.

42. — Se un lavoro attivo compiuto dà luogo ad un lavoro resistente vinto e ad uno sviluppo di calore, reciprocamente ogni volta che si ha un lavoro resistente vinto, o uno sviluppo di calore, si dovrà avere anche uno sviluppo di lavoro attivo fatto da qualche forza.

La corrente elettrica mette in moto i motori e solleva pesi vincendo un lavoro resistente; sviluppa calore riscaldando i conduttori; quindi, per mantenere la corrente elettrica è necessario che si spenda del lavoro attivo. Questo lavoro è appunto quello del motore, a vapore o idraulico, che tiene in moto la dinamo.

La corrente non è che un mezzo di trasformazione e di trasporto; essa serve a trasportare il lavoro fatto dalla motrice in altra posizione, trasformandolo in altra forma di lavoro, in calore o in luce. E qui viene spontaneo il quesito: in un tratto di circuito percorso da una corrente, quanto è il lavoro che si trasforma?

Esso è dato dal prodotto dell'intensità della corrente per la differenza di potenziale agli estremi di quel tratto di circuito e per il tempo durante il quale la corrente passa.

Ma quello che più interessa considerare è la *potenza elettrica*, ossia il lavoro trasformato in un secondo in un tratto di circuito.

Essa si ha moltiplicando semplicemente l'intensità della corrente per la differenza di potenziale agli

estremi del circuito. Per comodità poi, trattandosi di lavoro elettrico, si usa un' unità diversa dalle due considerate più su, chilogrammetro-secondo e cavallo; si usa il *watt*, che sarebbe la quantità di lavoro trasformata in un sacondo in un conduttore percorso da una corrente di intensità eguale a un amper, e agli estremi del quale si ha una differenza di potenziale di un volt. Ne viene che, moltiplicando l' intensità in amper della corrente che percorre un circuito per la differenza di potenziale in volt agli estremi, si ha la potenza elettrica in watt.

Ma se il watt è un' altra unità di potenza oltre il chilogrammetro-secondo e il cavallo, quanti watt corrispondono a un chilogrammetro-secondo? Quanti a un cavallo?

Un chilogrammetro-secondo equivale a 9,8 watt e, poichè un cavallo è uguale a 75 chilogrammetri-secondo, esso equivale a $75 \times 9,8 = 736$ watt.

È questo un numero che deve essere tenuto fisso nella mente per la sua importanza nelle applicazioni.

Veniamo a qualche esempio.

Una lampada di 12 candele e 110 volt richiede una intensità di 0,38 amp.; in questa lampada si trasformano in calore e luce $0,38 \times 110 = 42$ watt, equivalenti a $42 : 9,81 = 43$ chilogrammetri-secondo e a $42 : 736 = 0,057$ cavalli.

Una lampada ad arco che funzioni con 50 amp. e 52 volt, trasforma in calore e luce $50 \times 52 = 2600$ watt,

equivalenti a 2600 : 9,81 = 265 chilogrammetri-secondo ed a 2600 : 736 = 3,5 cavalli.

Un motore elettrico che richiede 8 amp. o 110 volt, trasforma, vincendo del lavoro resistente e producendo del calore, 8 × 110 = 880 watt.

43. — Il computo che abbiamo fatto per questi apparecchi utilizzatori della corrente, lo possiamo fare anche per tutto l'intero circuito esterno della dinamo. Se essa dà una corrente di 300 amp. con 110 volt, nel circuito esterno si trasformano e si utilizzano 33000 watt pari a 44,8 cav.

Questa potenza che viene utitizzata nel circuito esterno dicesi la *potenzza utile* della dinamo, mentre chiamasi *potenza motrice* quella che deve spendersi su l'asse per tener in moto l'indotto.

La potenza utile è necessariamente sempre una frazione di quella motrice, perchè una parte di questa va perduta nel riscaldamento degli avvolgimenti, negli attriti dei perni, nelle resistenze dell'aria; come valore approssimato medio si può ammettere che la potenza utile non sia che $^{80}/_{100}$ di quella motrice nelle dinamo a bassa potenziale e a piccola velocità, e questo rapporto chiamasi il *rendimento commerciale*. In conseguenza, per ogni cavallo sviluppato sull'asse del motore, non si avranno utilizzabili nel circuito esterno che $\frac{80}{100}$ di cavallo e, poichè un cavallo corrisponde a 736 watt, non si avranno che $\frac{80}{100} \times 736 = 588$ watt.

Reciprocamente ogni 588 watt circa nel circuito esterno, occorre un cavallo effettivo sull'asse del motore, per tenere in moto l'indotto; così per una dinamo di 33000 watt, occorre un motore di 33000 : 588 = 56,2 cavalli.

Questo numero di 588 watt, per cavallo effettivo, non è che un dato approssimato, che serve per fissare la potenza del motore necessaria per una data dinamo. Se la dinamo è di piccola potenza converrà ammettere solamente 500 watt per cavallo e se invece è molto potente si potrà salire fino a 650.

Abbiamo veduto (§ 36), che in un motore elettrico si desta una forza contro-elettromotrice e che la differenza fra questa e la differenza di potenziale ai poli del motore, rappresenta la differenza di potenziale necessaria a far circolare la corrente negli avvolgimenti del motore stesso.

Supponiamo che si abbiano 110 volt ai serrafili, che la forza contro-elettromotrice sia di 99 volt, che 11 volt vadano impiegati per la resistenza degli avvolgimenti e che sia di 8 amp. l'intensità della corrente.

Allora di $110 \times 8 = 880$ watt è la potenza elettrica assorbita dal motore, di cui $8 \times 11 = 88$ watt vanno a riscaldare i conduttori. Dei rimanenti non tutti possono essere utilizzati a far del lavoro meccanico, perchè una parte va perduta nell'attrito dei perni e nelle resistenze che incontrano nell'aria le parti in moto. Dunque la potenza utile sull'asse del motore, è quella elettrica

assorbita, meno quella perduta negli avvolgimenti, meno quella perduta per gli attriti dei perni e altre resistenze meccaniche.

Il rapporto fra la potenza che rimane utile sull'asse del motore e quella elettrica spesa, chiamasi il *rendimento* del motore e si può ammettere che sia in media $\frac{80}{100}$.

Però, per utilizzare il motore elettrico, si devono impiegare delle ruote d'ingranaggio, delle funi e molto spesso delle viti senza fine; ed allora una buona parte della potenza va perduta negli attriti che tutti questi organi presentano. Quando sia impiegata la vite senza fine, si può ritenere che la potenza che rimane veramente utilizzabile non sia che $^1/_4$ di questa effettiva sull'asse dal motore, e, con questo dato, si può stabilire la scelta del motore per raggiungere un determinato scopo.

Si debba applicare un motore elettrico ad un arganello, con vite senza fine, destinato a sollevare un peso di 65 chilogrammi all'altezza di 20 metri, e sia prescritto che l'ascenzione debba essere fatta in 30 secondi.

Il lavoro utile da eseguire è di $65 \times 20 = 1300$ chilogrammetri, e poichè esso deve essere compiuto in 30, il lavoro per secondo, ossia la potenza, è di $1300 : 30 = 43,3$ chilogrammetri-secondo, equivalenti a $43,3 \times 9,81 = 434,7$ watt e a $434,7 : 736 = 0,59$ cav.

Perchè resti disponibile questa potenza, tenuto conto di quella che va perduta per gli attriti, si disse che è

necessaria una potenza sull' asse del motore quattro volte maggiore, ossia il motore elettrico dovrà avere la potenza di $0,59 \times 4 = 2,36$ cav.

---

## CAPITOLO XII.

44. — Negli impianti elettrici si usa, quasi esclusivamente, la distribuzione in derivazione o in parallelo, la quale, come si disse, richiede una differenza di potenziale costante.

Un impianto essenzialmente consiste in una dinamo, dai serrafili della quale partono due conduttori che corrono insieme in tutti i locali che devono usufruire dell'impianto ed ai quali sono attaccati, in tanti circuiti derivati, le lampade a incandescenza, le lampade ad arco, i motori elettrici ecc. Tutti questi *apparecchi utenti* (che così si chiamano le lampade, i motori ecc.) richiedono per il loro buon funzionamento, che resti costante la differenza di potenziale fra i conduttori principali o fra i serrafili delle dinamo. Essi non sono sempre tutti in azione, ma vengono a vicenda ora messi in azione gli uni ora gli altri, e se queste variazioni facessero cambiare la differenza di potenziale fra i conduttori principali, ne verrebbe danneggiato il funzionamento degli altri apparecchi che rimangono in azione. Dunque è necessario che le cose sieno disposte in modo, che

qualunque variazione avvenga negli apparecchi utenti, la differenza di potenziale rimanga la stessa. Vediamo come si raggiunga questo intento.

Ammetteremo, prima di tutto, che sia mantenuta costante la velocità della dinamo; ciò che si ottiene mantenendo costante l'andamento del motore mediante appositi regolatori di velocità. Non possiamo qui entrare nel funzionamento di questo organo della macchina a vapore; solo, rilevata la sua grande importanza, dobbiamo osservare che esso deve essere mantenuto con tutte le cure, smontato di sovente e tenuto molto pulito e ben lubricato, essendo uno dei principali fattori del buon funzionamento di un impianto.

Ordinariamente non si usa la dinamo in serie, la quale viene preferita solo quando abbiansi da alimentare degli apparecchi in serie.

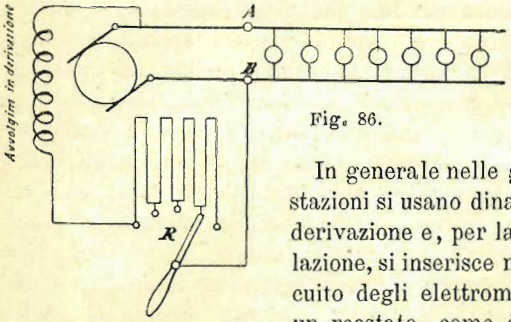



Fig. 86.

In generale nelle grandi stazioni si usano dinamo in derivazione e, per la regolazione, si inserisce nel circuito degli elettromagneti un reostato, come è indicato schematicamente in figura 86. Fra due punti della

conduttora esterna si stabilisce un voltmetro, che deve indicare sempre la differenza di potenziale prescritta.

Se questa differenza è troppo grande, si inserisce resistenza nel reostato; allora l'intensità di corrente che circola attorno agli elettromagneti diminuisce; diminuisce di conseguenza la forza elettromotrice che si sviluppa nell'indotto e quindi la differenza di potenziale fra i due conduttori esterni. Se la differenza di potenziale è troppo piccola, si diminuisce la resistenza al reostato; aumenta l'intensità di corrente negli elettromagneti; aumenta il campo e, di conseguenza, anche la forza elettromotrice e la differenza di potenziale.

Vediamo di mettere in chiaro da che cosa possono dipendere le variazioni della differenza di potenziale, quando sia costante la velocità della dinamo.

Ricordiamo che in una distribuzione in paralello, o derivazione (§ 14), rimaneudo costante la differenza di potenziale ai capi di ciascun apparecchio utente, ognuno di questi apparecchi prende un' intensità di corrente che dipende dalla sua resistenza; la corrente totale è la somma di tutte le correnti richieste da tutti gli apparecchi. Cosicchè, se nel circuito esterno della dinamo (che supponiamo a 65 volt.) sono attaccati per esempio 10 lampade da 12 cand., l'intensità di corrente nel circuito esterno è di $10 \times 0{,}7 = 7$ amp.; se poi vengono accese altre lampade e si arriva per esempio a 140, l'indennità diventà di 98 amp. Variando così la corrente, per la legge di Ohm,

varia anche la perdita di potenziale dovuta alla resistenza dell'indotto e varia quindi anche la differenza di potenziale ai serrafili della dinamo.

Per fissare le idee riferiamoci al caso rappresentato schematicamente dalla fig. 87. Supponiamo che la re-

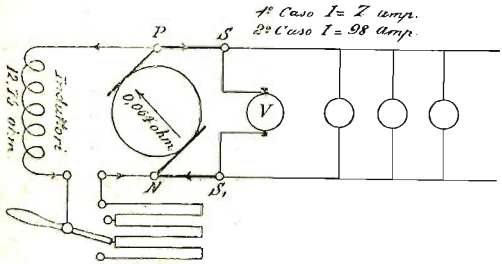



Fig. 87.

sistenza dell'indotto sia di 0,064 ohm; quella degli induttori 12,75 ohm, e quella aggiunta agli induttori mediante il reostato, sia di 5,25 ohm; cosicchè la resistenza di tutto l'avvolgimento del campo sarebbe di 20 ohm.

La corrente, che supponiamo diretta nell'indotto da *N* verso *P*, si divide in due, una parte va ad eccitare gli elettromagneti e una parte va al circuito esterno; poniamo che questa parte sia di 7 amp., ossia che siano accese 10 lampade da 12 candele, e che fra i serrafili della dinamo si abbia una differenza di potenziale di 65 volt.

La corrente che circola nel circuito degli induttori, poichè agli estremi si ha una differeuza di potenziale di 65 volt e la resistenza è di 20 ohm., per la legge di Ohm, avrà un' intensità di $65 : 20 = 3{,}25$ amp.

La corrente che passa nell' indotto è la somma di quella che passa negli elettromagneti e di quella che passa nel circuito esterno, ossia:

$$3{,}25 + 7 = 10{,}25 \text{ amp.}$$

Ma l' indotto offre una resistenza di 0,064 ohm, e la corrente nell' attraversarlo deve subire, per la legge di Ohm, una perdita di potenziale uguale al prodotto della intensità della corrente per la resistenza, ossia:

$$10{,}25 \times 0{,}064 = 0{,}6 \text{ volt.}$$

Sicchè la forza elettromotrice che si sviluppa nello indotto, dovrà essere uguale alla somma dei 65 volt che si hanno ai serrafili della dinamo, più quella piccola parte che va perduta per vincere la resistenza dell' indotto stesso; ossia:

$$65 + 0{,}6 = 65{,}6.$$

Supponiamo ora che vengano accese delle altre lampade, in tutto 140 per esempio, cosicchè l' intensità di corrente nel circuito esterno diventi:

$$140 \times 0{,}7 = 98 \text{ amp.}$$

Allora la corrente che passa nell' indotto sarà sensibilmente $98 + 3{,}25 = 101{,}25$ amp.; e la perdita di potenziale per la resistenza dell' indotto stesso, sarà:

$$101{,}25 \times 0{,}064 = 6{,}5 \text{ volt.}$$

Cosicchè se la forza elettromotrice resta la stessa, ossia 65,6 volt, non si avranno più 65 volt ai serrafili, ma bensì

$$65{,}6 - 6{,}5 = 59{,}1 \text{ volt:}$$

e quindi le lampade non daranno più il loro splendore normale, ma resteranno rosse; in generale, non sarà più regolare l'andamento dell'impianto.

Per avere nuovamente 65 volt ai serrafili, dovremo, escludendo della resistenza dal reostato, aumentare l'intensità di corrente negli induttori per aumentare il campo magnetico e, di conseguenza, la forza elettromotrice. Dovremo aumentare tanto la corrente degli induttori, da portar la forza elettromotrice, che si sviluppa nell'indotto, a 71,5 volt, perchè allora

$$71{,}5 - 6{,}5 = 65.$$

Dunque, per mantenere costante le differenze di potenziale ai serrafili di una dinamo in derivazione bisogna aumentare la corrente magnetizzante quando aumenta la corrente nel circuito esterno; diminuire quella quando diminuisce questa.

È necessario, perciò, che una persona stia continuamente attenta al voltmetro e maneggi il reostato in modo da mantenere sempre fissa l'indicazione del voltmetro.

Questo metodo, che si usa, come si disse, nei grandi impianti, non sarebbe conveniente negli impianti relativamente piccoli, nei quali si ottiene la regolazione automatica in un modo molto semplice.

Sugli induttori, oltre l'avvolgimento in derivazione che è fatto con filo molto sottile, si fa un secondo avvolgimento di filo grosso, che è percorso dalla corrente che va al circuito esterno, come mostra la fig. 88, e che si chiama *avvolgimento in serie*. Allorchè aumenta l'intensità di corrente nel circuito esterno, aumenta anche nell'avvolgimento in serie; il campo aumenta e con esso la forza elettromotrice nell'indotto. Così otteniamo automaticamente, quello che si otteneva prima a mano escludendo resistenza dal reostato. Regolando bene il numero delle spire dell'avvolgimento in derivazione e di quello in serie, si ottiene che la differenza di potenziale ai serrafili $S\ S_1$ della dinamo rimanga costante, qualunque sia l'intensità di corrente nel circuito esterno.

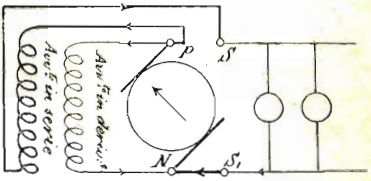


Fig. 88.

La dinamo così formata è quella che abbiamo chiamato compound o composita (§ 19), sicchè possiamo dire: che la dinamo compound è autoregolatrice e che l'avvolgimento in serie è essenzialmente l'organo regolatore.

Però una dinamo compound è autoregolatrice solo finchè la velocità resta costante e uguale a quella per cui la dinamo fu calcolata; ora, siccome la velocità non

rimane mai esattamente costante e il compound non è mai perfetto, nelle dinamo di potenza un po' forte, si aggiunge sempre il reostato per regolare le piccole variazioni.

Si potrebbe osservare che, una volta che si introduce il reostato, è inutile avere la dinamo compound e può esser sufficiente la dinamo in derivazione. L'osservazione è giusta per i grandi impianti, dove le variazioni nel numero delle lampade accese avvengono gradualmente e sono sempre piccole relativamente alla potenza dell'impianto; in questo caso possono sempre essere compensate a mano, senza che la differenza di potenziale subisca grandi sbalzi. Ma in un impianto piccolo, in cui le variazioni possono essere repentine e forti se la dinamo fosse solo in derivazione, si avrebbero dei salti di potenziale molto forti, che potrebbero danneggiare le lampade prima che col reostato si arrivasse a compensarli. Con la dinamo compound invece, anche se l'autoregolazione non è perfetta, anche se la velocità non è costante, gli sbalzi sono così piccoli, che, quand' anche non venissero subito compensati col reostato, non potrebbero portar danno all'impianto.

45. — Anche le dinamo, come gli altri generatori (§ 14) possono essere disposte in serie o in parallelo. La disposizione in serie è pochissimo usata; molto diffusa invece è la disposizione in parallelo. La figura 89 mostra schematicamente la disposizione di tre dinamo in parallelo eccitate da una quarta.

Gli avvolgimenti degli induttori delle tre dinamo sono alimentati in parallelo dalla dinamo eccitatrice, e, nel circuito di ciascun d'essi, è sistemato un reostato. Questi tre reostati servono a pareggiare le forze elettromotrici, in maniera

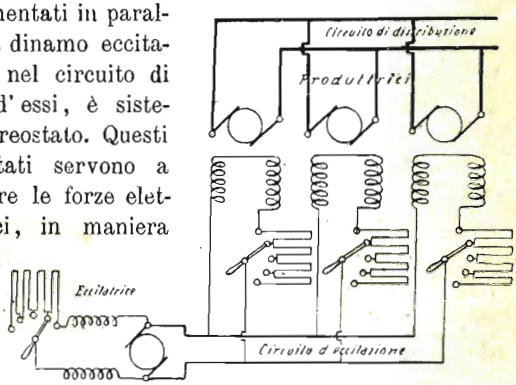



Fig. 80.

che tutte tre le dinamo dieno la stessa differenza di potenziale; mediante il reostato dell'eccitatrice si regola poi l'eccitazione di tutti tre insieme, in maniera da mantenere costante la differenza di potenziale al voltmetro.

Non è però necessario avere una dinamo speciale per l'eccitazione, la quale in generale è ottenuta con una derivazione dal circuito di distribuzione.

## CAPITOLO XIII.

46. — Così abbiamo visto brevemente come possa essere soddisfatta la condizione, essenziale per una distribuzione in derivazione, di mantenere costante la differenza di potenziale fra i due poli della dinamo. A questi due poli dovrebbero essere direttamente attaccate le lampade, i motori e infine tutti gli apparecchi che la dinamo deve alimentare. Siccome però ciò sarebbe materialmente impossibile, si collegano ai poli della dinamo due conduttori, che si possono considerare come due espansioni dei poli stessi.

Questi conduttori non sono mai due semplici fili o cordoni, ma si diramano in tutte le direzioni, come i rami di un albero, per andar a raggiungere tutti i diversi apparecchi. In questa rete di conduttori, ordinariamente si sceglie una linea, che si considera come linea principale, da cui si staccano delle grandi derivazioni e, da queste, le derivazioni minori. La scelta della linea, che si vuole considerare come principale, è affatto arbitraria; si potrebbe scegliere quella che

collega la dinamo all'apparecchio utente più lontano, ma è più razionale la regola seguente: si parte dalla dinamo e, a ogni bivio, si considera che la linea principale prosegua per il ramo in cui l'intensità è maggiore.

Consideriamo il caso della fig. 90 e supponiamo,

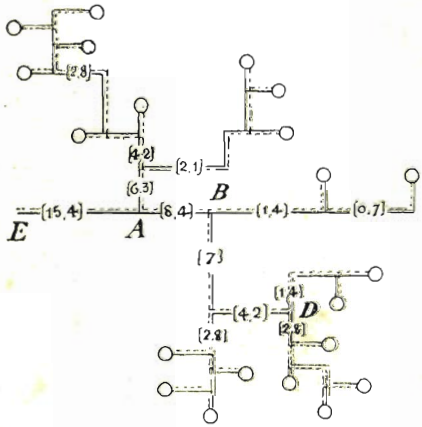



Fig. 90.

per semplicità, che gli apparecchi utenti sieno tutti lampade a incandescenza, richiedenti ciascuna 0,7 amp. Allora facilmente si può vedere che la corrente nei vari tratti avrà le intensità indicate con i numeri fra parentesi quadre. Partendo dalla dinamo, arrivati in $A$ dovremo considerare che la linea principale

prosegua verso *B*, perchè da questa parte l'intensità è 8,4 amp. mentre dall'altra è solo 6,3 amp. In *B* dovremo proseguire verso *C* e in *C* verso *D*. In questo punto, poichè rimangono poche lampade ancora, potremo ritenere che finisca la linea principale e considerare il seguito come formato da due gruppi derivati. Dunque la nostra linea principale sarebbe la *E A B C D* e nei punti *A B C D* partirebbero dei rami derivati, i quali si suddividerebbero in altri rami minori fino alle ultime derivazioni, che sono quelle che portano una lampada sola.

La corrente, trovando nelle condutture una certa resistenza, subisce una perdita di potenziale; cosicchè in nessun punto della rete si può avere, fra i due conduttori, la stessa differenza di potenziale che ai poli della dinamo; si deve avere necessariamente una differenza alquanto minore. Supponiamo che il tratto *E A* sia lungo 10 metri e sia fatto con un filo di rame di 3 $^{m}/_{m}$ di diametro, il quale offre una resistenza di ohm 0,0025 per metro. Considerando l'andata e il ritorno, la lunghezza del conduttore è di metri 20; per cui la sua resistenza è di $0{,}0025 \times 20 = 0{,}05$ ohm e, per la legge di Ohm, la perdita di potenziale è di:

$$15{,}4 \times 0{,}05 = 0{,}77 \text{ volt.}$$

Ciò vuol dire che, se nel punto *E*, ossia fra i poli della dinamo, la differenza di potenziale è di 110 volt, nel punto *A*, fra i due conduttori, non è più di 110 volt, ma di $110 - 0{,}77 = 109{,}23$ volt.

In ogni tratto della rete si ha una analoga perdita dipendente dalla sezione del conduttore e dalla intensità della corrente, e, perchè un impianto funzioni bene, è necessario che la massima perdita nella differenza di potenziale, ossia la somma di tutte le perdite nei vari tratti, sia abbastanza piccola. Evidentemente si potrebbe renderla assai piccola impiegando dei conduttori molto grossi, che offrono piccolissima resistenza; ma, allora, l'impianto verrebbe a costare moltissimo. Perciò si fissa un limite che sia d'accordo con un sufficiente buon funzionamento e una spesa non troppo forte d'impianto.

Ordinariamente questo limite è il 5 per cento circa della differenza di potenziale massima. Se l'impianto è a 110 volt, si ammette una perdita massima nella conduttura di 5 volt.

Per ottenere meglio lo scopo, si debbono impiegare dei conduttori di sezione scalata, ossia dei conduttori più grossi dove l'intensità è più forte e via via minori dove è minore l'intensità. Però la corrente, come sappiamo (§ 25), scalda i conduttori che attraversa, e il riscaldamento non aumenta in proporzione all'intensità della corrente, ma due volte tanto. Quindi, quando si stabiliscono le sezioni dei conduttori di un'impianto, non si deve badare soltanto che la perdita di potenziale sia quella prescritta, ma anche che ogni conduttore abbia una sezione proporzionata all'intensità della corrente che lo deve attraversare, in modo da non essere soggetto a riscaldarsi. È una buona regola non sorpassare i 2 amp. per millimetro quadrato quando

i conduttori sieno rivestiti di gomma e corrano in locali freschi; se poi i locali sono caldi converrà limitarsi ad 1 amp. Conviene limitarsi a 1 amp. anche quando i conduttori sono molto grossi. Per le linee in filo di rame nudo sostenute da isolatori di porcellana si potranno far passare anche 5 amp. per ogni millimetro quadrato.

Il numero degli amp. che passano per ogni millimetro quadrato, dicesi la *densità* della corrente nel conduttore, e le densità fissate come limiti, diconsi *densità di sicurezza*. Così, quanto abbiamo detto di sopra può esprimersi dicendo; che per cavi in gomma e in cassette di legno, convengono le densità di sicurezza 1 in locali molto caldi, 2 in locali freschi.

47. — Effetti disastrosi possono poi aver luogo, per effetto di riscaldamento, quando in un impianto si formi un *corto circuito*. Abbiamo detto che un impianto può considerarsi come formato da due conduttori ramificati, tenuti a una differenza di potenziale pressochè costante, fra i quali sono stabilite tante derivazioni quante sono le lampade, i motori ecc.; in generale quanti sono gli apparecchi utenti.

Supponiamo per semplicità che non si tratti che di lampade a incandescenza da 16 candele e 110 volt.; ogni lampada costituisce un circuito derivato di circa 200 ohm di resistenza, che, per la legge di Ohm, non lascia passare che una corrente di circa 0,5 amp. Ma se per una combinazione qualsiasi i due conduttori

vengono a toccarsi in un punto; se proprio il rame dell'uno va in comunicazione col rame dell'altro, viene ad essersi stabilito fra i due sistemi di conduttori una derivazione di resistenza piccolissima, quasi zero, la quale perciò lascierà passare una corrente eccessivamente intensa, che percorrerà tutti i conduttori a partire dalla dinamo fino al punto in cui si è formato il corto circuito.

È così importante l'argomento che vale lo spendervi qualche parola e, per meglio precisare, considereremo una derivazione quale quella rappresentata dalla fig. 91.

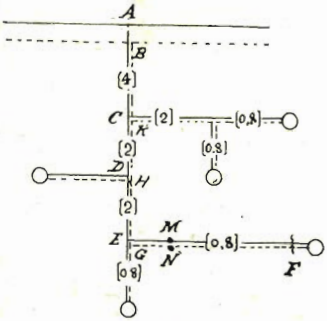


Fig. 91.

Supporremo che trattisi di un gruppo di 5 lampade alimentate in un ramo derivato nei punti *A B* dal circuito principale, e che i numeri segnati fra parentesi, indichino le sezioni dei varî conduttori. Immaginiamo ora che in un punto, per esempio in *F*, i due conduttori vengano in contatto. Allora fra i due punti *A B* si verrebbe a stabilire un circuito derivato *A C D E F G H K B* formato tutto da conduttori metallici, il quale non offrirebbe che una piccolissima resistenza, al massimo 1 o 2 decimi di ohm; e poichè i due punti *A B* sono mantenuti dalla dinamo a una

differenza di potenziale di 110 volt, nel circuito che abbiamo nominato si stabilirebbe una corrente di 500 a 600 amp., che percorrerebbe conduttori di 4, di 2 e persino di 0,8 $mm^2$ di sezione. Questi conduttori, percorsi da una corrente troppo intensa per la loro sezione, non potrebbero fare a meno di arroventarsi, incendiando il rivestimento isolante con pericolo di comunicare l'incendio agli oggetti circostanti.

Come si può rimediare a questo inconveniente che è il più serio che possa presentarsi in un impianto elettrico? Noi sappiamo (§ 25) che in un circuito percorso da corrente, il massimo sviluppo di calore ha luogo nel punto che oppone maggior resistenza a parità di lunghezza. Dunque, se in un punto del circuito sostituiamo il conduttore in rame, per una piccola lunghezza, con un filo di piccolo diametro, di metallo relativamente poco conduttore e facilmente fusibile, quando avvenga il corto circuito, in quel punto si svilupperà la massima quantità di calore ed il filo fusibile fonderà e interromperà il circuito, prima che i conduttori si arroventino. Nel caso che abbiamo prima considerato, inserendo in *N* o in *M* il filo fusibile, al formarsi del corto circuito, la lampada dopo il corto circuito rimarrebbe spenta, ma il rimanente circuito continuerebbe a funzionare senza nessun danno per i conduttori. Per maggior sicurezza si introduce il filo fusibile in tutti e due i conduttori; in *N* e anche in *M*.

I fili fusibili prendono il nome di *valvole* di sicurezza, o meglio, sotto questo nome si comprende tutto

l'apparecchio che serve ad introdurre il filo fusibile nel circuito. Ve ne sono di infinite forme; non faremo cenno che di una.

Su una base isolante (fig. 92), ordinariamente di porcellana, sono fissati quattro blocchetti metallici *a a b b*, ai quali fanno capo da una parte i fili da cui la corrente arriva dal circuito principale; dall'altra quelli che vanno alla derivazione. I blocchetti sono muniti di spaccature, in cui si inseriscono i così detti *tappi*, formati da un pezzo isolante *A* al quale sono fissate due piastrine $a_1$ $b_1$, che entrano, facendo contatto, rispettivamente nelle spaccature di *a* e di *b*. Fra le due piastrine $a_1$ e $b_1$ è teso, fissato con vite o saldato, il filo fusibile. I tappi hanno lo scopo di facilitare il ricambio in caso di fusione.

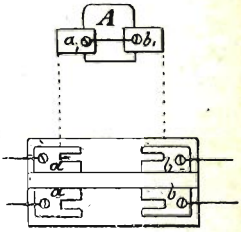


Fig. 92.

Per i fili fusibili si impiega il piombo puro, o, più spesso, una lega di due parti di piombo e una di stagno, e si dà loro una lunghezza di 20 a 30 millimetrl.

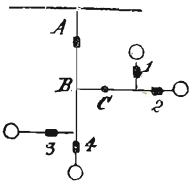


Fig. 93.

Osserviamo che se in ognuna delle ultime derivazioni che portano le singole lampade fosse inserita una valvola, l'impianto non sarebbe ancora completamente protetto. Consideriamo infatti la fig. 93, dove per maggior semplicità abbiamo indicato con un solo segno tutti e due i conduttori, e supponiamo che

esistano le valvole indicate coi numeri 1, 2, 3, 4. Evidentemente se succede un corto circuito prima delle valvole, per così dire a monte delle valvole, come sarebbe per esempio in *C*, il tratto di circuito *A B C* andrà soggetto a tutti gli inconvenienti dei corti circuiti, come se le valvole non esistessero.

Bisogna dunque mettere una valvola anche in *A* principio di derivazione, anzi nella maggior parte dei casi, si mettono semplicemente le valvole per gruppi di lampade. Così si va incontro all' inconveniente che un corto circuito spegne tutto un gruppo, anzichè una sola lampada; ma si ottiene il vantaggio importantissimo di diminuire il numero delle valvole, che richiedono cura e sorveglianza continua.

Però se un gruppo porta molte lampade, e si mette la sola valvola 1 (fig. 94), non solo in caso di corto circuito molti locali restano al buio, ma quella valvola nelle condizioni normali è attraversata da una corrente piuttosto intensa, e perchè con la corrente normale non scaldi, dovrà esser munita di un filo fusibile molto grosso. Allora, se succede un corto circuito vicino a una lampada dove i fili conduttori sono molto sottili, potrà avvenire che questi fili si arroventino, prima che fonda il filo fusibile. Per evitar questo caso, si divide

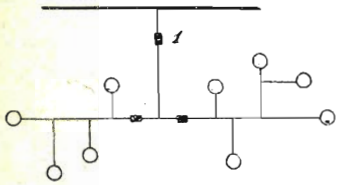


Fig. 94.

il gruppo in gruppi minori e si mette, oltre quella in testa di derivazione, una valvola in ogni gruppo parziale come indica la fig. 94. Le lampade di un gruppo estremo non devono essere più di 7 o 8 negli impianti a 65 volt; e di 10 o 11 in quelli a 110 volt.

Si devono dunque avere valvole di gruppo e valvole di riunione di gruppi. Le prime possono essere tutte eguali e, qualunque sia il numero delle lampade dei rispettivi gruppi (sempre dentro ai limiti stabiliti), possono portare tutte il filo di lega piombo-stagno di $^{6}/_{10}$ di millimetro. Le altre devono avere un filo fusibile proporzionale all'intensità della corrente che le attraversa. Per fili di lega in valvole chiuse, si può attenersi ai seguenti dati.

| Intensità massima di corrente amp. | Diametro del filo fusibile mm. |
|---|---|
| 14 | 1.3 |
| 21 | 1.5 |
| 28 | 2.0 |
| 35 | 2.2 |

Quando una valvola fonde, si deve subito sostituire il tappo fusibile. Se la fusione non si ripete, significa che prima era avvenuta per una causa accidentale; forse un cattivo contatto sugli appoggi ha provocato un riscaldamento tale da portare il filo al punto di fusione. Se la fusione si ripete, si deve senz'altro cercare il guasto, e assumerebbe scioccamente una grave responsabilità chi, per evitar le fusioni, mettesse nelle

valvole un filo fusibile più grosso di quello che l'impianto richiede, oppure sostituisse al filo fusibile un conduttore difficilmente fusibile, come sarebbe un filo di rame.

48. — Per completare la protezione dell'impianto sarebbe utile sistemare una valvola di sicurezza subito dopo la dinamo, per impedire che, avvenendo un corto circuito nel primo tronco di linea, la dinamo resti chiusa su se stessa. Però l'uso di valvole di sicurezza con correnti intense non è mai consigliabile, sia perchè facilmente riscaldano, sia perchè fondendo proiettano il metallo fuso con rischio di danni, sia perchè non sono mai di funzionamento pronto e sicuro. Perciò si preferiscono degli apparecchi automatici che per l'azione di una elettrocalamita interrompono il circuito quando la corrente supera un'intensità massima stabilita. Questi apparecchi si chiamano *interruttori a massima*. Oggidì vi è una grande tendenza a sostituire questi interrutori a massima anche alle valvole degli impianti privati.

I punti in cui più di frequente si presentano i corti circuiti sono i portalampade; facilmente si verifica che le estremità dei conduttori, in causa di cattiva montatura, vadano a toccare la camicia metallica di difesa. Perciò i portalampade devono esser l'oggetto delle principali cure di chi monta un impianto.

È conveniente poi che, per quanto è possibile, gli accessori tutti, innesti, interruttori, valvole, sieno montate su base di porcellana, essendo questa un isolante

che non si altera con la temperatura. È ancora opportuno che la base di porcellana sia fissata a sottobasi in legno in modo d'aver due ordini di isolamento.

---

## CAPITOLO XIV.

49. — Parlando della dinamo abbiamo accennato alla f. e. m. sviluppantesi in un conduttore che si muove in un campo magnetico. Dobbiamo ora ritornare su l'argomento per esaminarlo più da vicino.

Il fatto fondamentale è che ogni qualvolta una variazione avviene in un campo magnetico, in ogni punto di tutti i conduttori che si trovano in quel campo, ha origine una forza elettromotrice, la quale è tanto più intensa, quanto più grande e quanto più rapida è la detta variazione. Devesi intendere per variazione sia un cambiamento di intensità o di direzione del campo, uno spostamento di masse magnetiche o altro. Questo fatto generale avrebbe bisogno di essere esaminato nei vari casi che possono presentarsi; noi però ci limiteremo a considerare ciò che avviene quando trattisi di circuiti chiusi, come il caso che in modo speciale ci interessa.

Un circuito elettrico è sempre costituito da una serie chiusa di conduttori, perchè se la serie dei conduttori

non è chiusa, non è possibile (§ 7) aver corrente. Questa serie di conduttori forma, per così dire, una linea chiusa su se stessa, la quale, in generale, non è una linea semplice, ma anzi si ripiega su se stessa per formare gli avvolgimenti di elettro-calamite, o si divide in vari rami derivati. Per esempio, nel caso di una linea telegrafica, la linea chiusa su se stessa è formata dalla linea propriamente detta, dalle spirali degli apparecchi delle macchine scriventi, dalla pila, dalla terra. Nel caso di un circuito per luce, la linea chiusa è ripiegata su se stessa negli avvolgimenti della dinamo e poi si completa col circuito esterno che si divide in tanti rami derivati quante sono le lampade.

Ma anche le linee di induzione, come abbiamo veduto, sono delle linee chiuse su se stesse che attraversano tutte il magnete o l'elettromagnete che le genera e allorchè un conduttore elettrico trovasi in presenza di un campo magnetico, una parte delle linee d'induzione del campo si concatenano con la linea chiusa costituita dal circuito.

Per fissare le idee consideriamo il caso schematico della figura 95. Il campo sia generato dal magnete N S. Le linee di induzione formano un fascio di linee chiuse che passano tutte per il magnete. Di queste linee alcune nel richiudersi su se stesse passano dentro la linea chiusa formata dal circuito o per meglio dire si concatenano col circuito.

Evidentemente se il magnete cambia di intensità, o si sposta o ruota su se stesso; oppure il circuito si

muove, varierà il numero delle linee di induzione concatenate col circuito; esso potrà o aumentare o di-

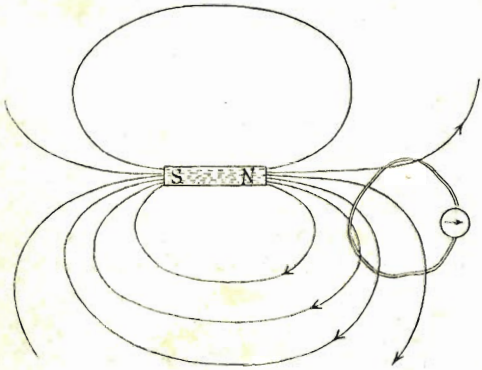



Fig. 95.

muire, e potranno anche le linee d'induzione cambiare il segno, entrare di dove uscivano e viceversa. In conseguenza di questa variazione, per il principio generale da noi prima enunciato si desta in ogni punto del circuito una forza elettromotrice; e tutte le forze elettromotrici elementari che si destano nei vari punti si addizioneranno in una forza elettromotrice unica. Possiamo ancora dire che:

*Ogni volta che avviene una variazione del numero di linee concatenate con un circuito, si desta nel circuito stesso una forza elettromotrice risultante, la quale è tanto più grande quanto più è grande la*

*variazione nel numero di linee e quanto più rapida è questa variazione.* Il senso poi di questa f. e. m. è quello del moto delle sfere dell'orologio per chi guarda il conduttore nel senso delle linee di induzione, se il numero di queste linee diminuisce.

50. — Stabilito questo principio generale, è facile cosa rendersi conto dei vari casi *di induzione elettromagnetica* e qualche esempio servirà a meglio fissare il principio stesso.

Supponiamo che davanti le estremità polari di un magnete si sposti (fig. 96), secondo la grande freccia un lungo cilindro di ferro. Su questo cilindro sia avvolta una spirale conduttrice convenientemente isolata e sieno quelle segnate con 1, 2, 3, 4, 5 le posizioni successivamente occupate dalla spirale.

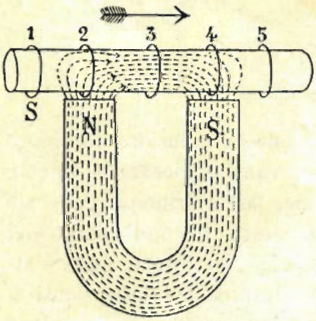


Fig. 96.

Dalla posizione 1 alla 2 il numero delle linee d' induzione concatenate col circuito, aumenta per chi guarda nel senso delle linee stesse; la f. e. m. ha quindi la direzione inversa a quella delle sfere dell' orologio. Nel passaggio da 2 a 3 il numero delle linee concatenate aumenta sempre, e quindi anche in questo tratto le f. e. m. avrà la stessa

direzione contraria al moto delle sfere dell' orologio. In 3 il numero delle linee d'induzione concatenate è un massimo; da 3 in poi il numero di linee concatenate, sempre per chi guarda nel senso delle linee stesse, va diminuendo e quindi le f. e. m. cambia di segno. Se dunque il nucleo di ferro, e con esso la spirale, si trasporta con movimento uniforme dalla posizione 1 alla 5, si sviluppa nel conduttore una f. e. m. che cambia di segno in corrispondenza al punto in cui il numero di linee concatenate è un massimo. Evidentemente quanto abbiamo detto avverrebbe allo stesso modo, se invece che muoversi l'ancora, si muovesse il magnete in senso inverso, oppure se invece di un magnete permanente si avesse un elettromagnete.

La f. e. m. d' induzione che si desta nella spirale è tanto più grande quanto più potente è la calamita e quanto più rapido il movimento di spostamento. Ma si può aumentare la detta f. e. m. indotta anche facendo in modo che il conduttore formi, anzichè una sola, due o più spire. Se le spire sono due, tre o più si ha lo stesso effetto come se il numero delle linee d'induzione concatenate col circuito fosse doppio, triplo o più, e quindi doppia, tripla o più è la f. e. m. che si sviluppa nel movimento.

Fra i tanti casi possibili consideriamo anche quello rappresentato dalla fig. 97. Una spirale P è percorsa da corrente ed una seconda S abbraccia la prima. La prima spirale, come abbiamo veduto al § 15, genera un campo magnetico, le cui linee d'induzione passano tutte

attraverso la spirale stessa e sono quindi tutte concatenate con la seconda spirale S.

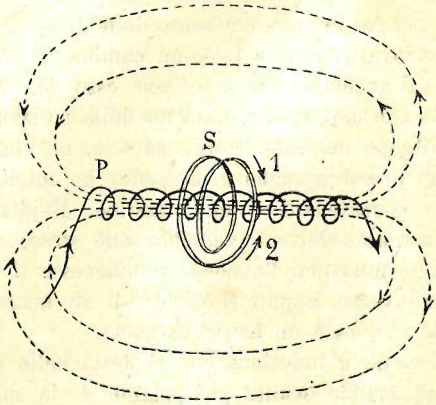



Fig. 97.

Una variazione dell' intensità della corrente nella prima spirale, che chiamasi *inducente* o *primaria*, determina una variazione nel flusso di linee d'induzione. Varia quindi il numero di linee concatenate con la seconda spirale che chiamasi *indotta* o *secondaria*, e quest' ultima diventa perciò sede di forza elettromotrice. — Se la corrente nella primaria ha la direzione indicata in figura, una diminuzione di intensità o l' interruzione del circuito provoca una f. e. m. nel senso della freccia 1, un aumento nel senso della freccia 2. — Se poi la corrente cambia di segno, una

diminuzione provoca un f. e. m. nel senso della freccia 2 ed un aumento nel senso della freccia 1.

Questa disposizione di due spirali è utilizzata nei rocchetti di induzione (Ruhmkorff) per ottenere dalle f. e. m. fortissime. La spirale primaria è formata di non molte spire di filo piuttosto grosso e vi si lancia una corrente piuttosto intensa, che si rompe bruscamente mediante appositi interruttori. Un nucleo di ferro serve ad aumentare il flusso d' induzione.

La spirale secondaria è formata di un numero straordinariamente grande di spire di filo finissimo. — Alla chiusura della corrente nella primaria, nella secondaria si ha una elevatissima f. e. m. indotta, ma una f. e. m. ben più elevata si sviluppa all' apertura del primario, perchè la variazione del numero di linee concatenate è assai più rapida. — Se la spirale secondaria non è chiusa su se stessa e i suoi estremi si trovano a una certa distanza fra loro, la f. e. m. indotta può essere tanto grande da dar luogo a delle scintille. — Da alcuni rocchetti si hanno delle scintille di un metro e più di lunghezza.

Altra applicazione della combinazione di due spirali si ha nei trasformatori, di cui avremo occasione di parlare in seguito.

51. — Premesso ciò vediamo quel che succede con la disposizione rappresentata dalla fig. 98. Un elettromagnete N S sia girevole intorno ad un asse O e la corrente di un generatore (pile, accululatori o dinamo)

sia mandata nella spirale magnetizzante, mediante due contatti sfreganti su due anelli, in modo che si abbia

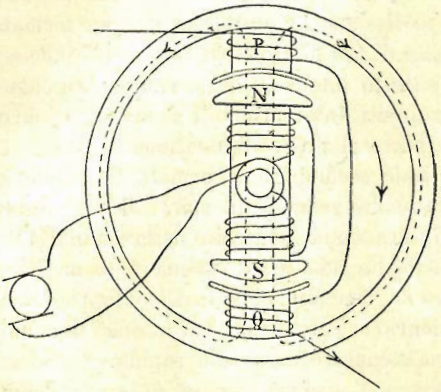



Fig. 98.

la polarità nord all' estremo N e la polaritá sud all' estremo S.

Nella rotazione, gli estremi polari dell' elettromagnete passino davanti a due spirali P Q avvolte su nuclei di ferro collegati da un anello pure di ferro.

Consideriamo la spirale P. Evidentemente le linee di induzione concatenate entrano dalla faccia inferiore e, se l' elettromagnete ruota nel senso delle sfere di un orologio, il loro numero va diminuendo finchè il polo N si allontana; quindi nella spirale si sviluppa una f. e. m. nel senso della freccia. Ma coll' allontanarsi

del polo N si avvicina il polo S e cominciano a concatenarsi colla spirale delle linee d'induzione che entrano dalla faccia superiore e che aumentano in numero finchè il polo S non abbia preso il posto del polo N. Anche queste linee d'induzione danno luogo ad un f. e. m. nel senso della freccia.

Continuando la rotazione, allontanandosi il polo S dalla spirale ed avvicinandosi il polo N, diminuiscono le linee d'induzione che entrano dalla faccia superiore e aumentano quelle che entrano dalla faccia inferiore, finchè il polo N non abbia ripresa la sua posizione iniziale. Sicchè in questo secondo mezzo giro la f. e. m. indotta sulla spirale P avrà direzione contraria a quella che aveva nel mezzo giro antecedente. Seguitando sempre la rotazione dell'elettromagnete, si avrà dunque nella spirale una f. e. m. che ad ogni mezzo giro cambierà di direzione, o, come si suol dire, una *forza elettromotrice alternativa*, e il momento dell'inversione sarà quello in cui i poli passano davanti alla spirale.

Nella spirale Q, tutto avviene nello stesso modo, però la f. e. m. in ogni istante ha direzione contraria a quella di P; per cui se si vuole avere un f. e. m. maggiore, le due spirali possono essere riunite in serie, ma bisogna che sieno collegate in modo che i loro avvolgimenti sieno inversi l'uno rispetto all'altro.

Ma si può fare anche di più. Si può far ruotare invece che una sola coppia di poli induttori, una stella con quattro, sei, otto o più poli, alternativamente di senso contrario, e disporre sull'anello altrettante spirali

indotte collegate successivamente una in senso inverso all' altra. Allora ad ogni istante la f. e. m. sarà la somma delle f. e. m. delle singole spirali e l' inversione avverrà non più due volte per giro, ma tante volte quanti sono i poli perchè altrettante volte questi si trovano di fronte alle spirali. Una macchina così fatta dicesi un' *alternatore*, il quale, per quanto si disse, ha sempre bisogno di una sorgente separata di corrente continua per la magnetizzazione degli induttori.

A questo scopo ordinariamente all'alternatore è unita una piccola dinamo a corrente continua che serve a sviluppare la corrente necessaria per l'eccitazione degli elettromagneti e che chiamasi l' *eccitatrice*.

Per fissare le idee supponiamo che i poli sieno in numero di quattro e in conseguenza quattro sieno pure le spirali indotte riunite in serie fra loro, alternando, come si è detto, il senso degli avvolgimenti.

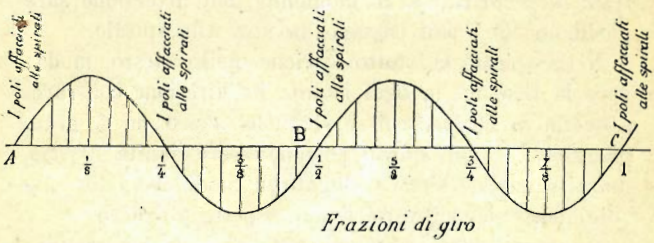



Fig. 99.

Su una retta A B C (fig. 99) rappresentiamo con delle varie lunghezze il movimento della stella; con

delle rette perpendicolari dirette verso l'alto, la f. e. m. che si sviluppa in una data direzione e con delle perpendicolari verso il basso la f. e. m. di senso contrario. Nel primo quarto di giro la f. e. m. va crescendo e poi diminuendo ma resta sempre dello stesso senso. Ad un quarto di giro i poli sono nuovamente affacciati alle spire; la f. e. m. cambia di segno e per il susseguente quarto di giro va crescendo e poi diminuendo ma conserva lo stesso senso contrario e quello del primo quarto. A mezzo giro la f. e. m. ripassa per zero e cambia di segno per ritornare del senso che aveva nel primo quarto e così via La f. e. m. che si ha dall'alternatore può quindi essere rappresentata da una linea *sinusoidale*.

Quello che succede nel tratto A B, ossia in mezzo giro, si ripete periodicamente, e quel tratto dicesi un *periodo*. Nel caso da noi considerato si hanno due periodi per ogni giro; se invece l'alternatore fosse a otto poli si avrebbero quattro periodi per giro; se fosse a sedici poli, otto periodi, e così via. Generalmente di un'alternatore si indica il numero di periodi e questo numero si chiama *frequenza*. Supponiamo che un alternatore a 12 poli faccia 200 giri al minuto; il numero dei periodi per ogni giro sarebbe di 6 e in un minuto di $6 \times 500 = 3000$ ossia di 50 al secondo; si direbbe che la frequenza è 50 periodi. Ordinariamente sono adottate frequenze di 40-50 periodi.

Abbiamo così accennato ad un tipo d'altenatore che è quello più comunemente usato. L'indotto, come si è

visto, è fisso e quindi la corrente viene raccolta da due semplici serrafili; la corrente magnetizzante è inviata agli induttori mediante due spazzole che sfregano contro due semplici anelli. Ve ne sono poi di molti altri tipi in cui restano fermi gli induttori e ruota l'indotto oppure restano fermi induttori e indotto e ruota una semplice stella di ferro. In tutti però, le cose avvengono in modo analogo a quello da noi accennato.

52. — Finora abbiamo parlato esclusivamente di forza elettromotrice, ma se l'alternatore è chiuso su un circuito esterno, in questo circuito si ha una corrente che naturalmente è pure alternativa e ha gli stessi periodi della f. e. m. Questa corrente riscalda i conduttori come la corrente continua e quindi può essere impiegata per le lampade a incandescenza; come la corrente continua forma l'arco fra due carboni, però l'arco ha un aspetto diverso perchè i carboni si arroventano egualmente e quindi si ha una luce più uniforme in tutte le direzioni. La corrente alternata non ha un'azione apparente sull'ago magnetico, perchè per mezzo periodo tende a farlo muovere in un senso e per il mezzo periodo seguente in senso contrario; e perchè i periodi si susseguono con grande rapidità l'ago finisce col restar fermo.

Perciò non si possono impiegare i galvanometri, gli amperometri, i voltmetri che servono per la corrente continua. Si usano invece generalmente degli istrumenti così detti a filo caldo, nei quali la corrente riscalda un filo metallico, che dilatandosi, fa muovere un indice.

Questi istrumenti danno certi valori medi della corrente o della f. e. m. che si chiamano valori *efficaci*.

53. — Dobbiamo ora accennare alle ragioni che rendono in alcuni casi preferibile la corrente alternata a quella continua e, per maggior chiarezza, tratteremo un esempio. Suppongasi che essendo il macchinario in un punto A si voglia mandare per essere utilizzata alla stazione B, distante 2 kilometri, una potenza elettrica di 20000 watt. Supponiamo anche che in B non si devano avere più di 100 volt, il che equivale a dire che si dovrà avere una corrente di 20000 : 100 = 200 amp. Sopponiamo ancora che la linea sia costituita da due fili di 8 millimetri di diametro.

Calcolando secondo le norme date al § 11 la resistenza della linea, si trova che alla temperatura media di 15 gradi essa sarebbe di circa ohm 1, 35.

Per la legge di Ohm, per effetto di questa resistenza si ha una perdita di potenziale di 200 × 1.35 = 270 volt. Si dovrà quindi avere alla stazione A una tensione di 370 volt per non utilizzarne che 100 alla stazione B, e la perdita di potenza lungo la linea (§ 42), data dal prodotto della intensità di corrente per la caduta di potenziale, nel nostro caso sarà di 270 × 200 = 54000 watt.

Dunque per avere 20000 watt alla stazione B, si dovrebbe perderne 54000 nella linea, o per non avere una perdita così enorme, si dovrebbe aumentare considerevolmente la sezione della linea impiegando una grande quantità di rame.

Ma se i 20000 watt potessero essere utilizzati alla stazione B con una tensione di 2000 volt invece che di 100 volt, la corrente sarebbe di 20000 : 2000 = 10 amp. e quindi la perdita di tensione in linea sarebbe semplicemente di 10 × 1,35 = 13. 5 volt; e la perdita di potenza di 13.5 × 10 = 135 watt soltanto.

Si vede dunque che quando si deve trasportare ad una rilevante distanza dell' energia elettrica, conviene impiegare delle altissime tensioni.

Vi è però la difficoltà che l'energia elettrica non può essere distribuita ad altissima tensione sia per il pericolo che si presenta a far correre i conduttori dentro le abitazioni, sia perchè gli apparecchi utenti richiedono in generale delle tensioni basse. Le lampade ad incandescenza finora si costruiscono al massimo per 250 volt, i motorini per 500 volt.

Per poter quindi trasportare l'energia elettrica con piccola intensità e elevata differenza di potenziale, è necessario potere alla stazione d'arrivo trasformare questa energia in modo d' avere grande intensità e bassa tensione.

Questa trasformazione difficile con la corrente continua, può essere ottenuta con la corrente alternata mediante la disposizione della fig. 97. Su di un nucleo di ferro è avvolta una spirale di molte spire di filo fine (spirale primaria) che si fa attraversare dalla corrente a alta tensione e sullo stesso nucleo è avvolta un seconda spirale di filo grosso (spirale secondaria) alla quale vengono attaccate le lampade o gli apparecchi utenti in genere.

La variazione della corrente nella spirale primaria fa variare e cambiare il senso alle linee di induzione concatenate con la spirale secondaria e quindi in questa si sviluppa una f. e. m. alternativa. Regolando opportunamente il numero delle spire, si ha agli estremi della spirale secondaria la differenza di potenziale che si desidera.

Un apparecchio così fatto chiamasi un *trasformatore*.

Per questa facilità con cui può esser trasformata da alta a bassa tensione, la corrente alternativa è preferibile alla corrente continua quando si deve trasportare dell'energia elettrica a grande distanza, oppure anche quando si deve distribuire l'energia in una zona molto estesa. In quest'ultimo caso vien fatta tutta una rete di distribuzione ad alta tensione e in vari punti vengono messi in derivazione dei trasformatori, ciascuno dei quali diventa un piccolo centro di distribuzione a bassa tensione.

54. — Dobbiamo ora fare un breve cenno dell'applicazione della corrente alternata ai motori.

Ritorniamo all'alternatore bipolare della fig. 98. I magneti sieno sempre magnetizzati da una sorgente separata (dinamo o accumulatori) e nelle spirali indotte si mandi una corrente alternata. I magneti non si mettono in moto perchè in qualunque punto essi si trovino, l'azione delle spirali è per un istante attrattiva e per un istante dopo repulsiva. Ma se si mettono in moto in un modo qualunque e si arriva ad una velo-

cità tale che le estremità polari passino proprio davanti alle spirali, ogni qualvolta la corrente cambia di direzione, il moto continua e quella velocità è conservata co-

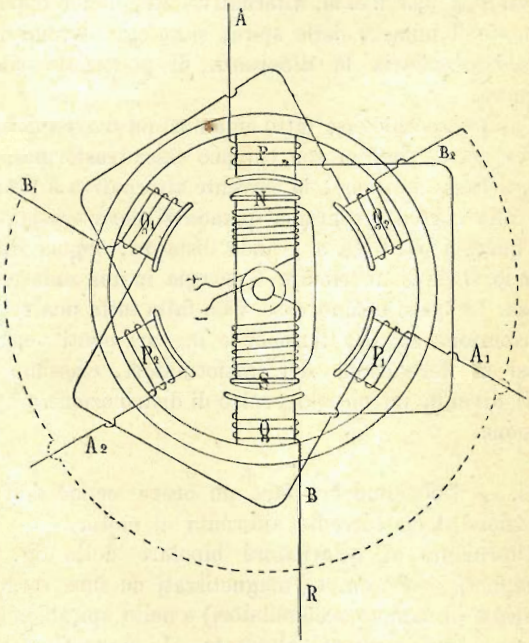



Fig. 100.

stante. Solo sotto queste condizioni l'alternatore, a somiglianza della dinamo, è riversibile e diventa un motore elettrico. È un motore però assai poco pratico

perchè non si mette in moto da se, non solo, ma quando venga caricato, molto facilmente perde il sincronismo e allora si ferma all' istante.

Per questo inconveniente che ha luogo con i motori a due poli come sono quelli a quattro poli e più, oggigiorno sono quasi esclusivamente usati dei motori detti a campo ruotante dovuti al Ferraris. Per questi motori sono necessari due o più correnti alternate in condizioni speciali. Generalmente si usano tre correnti, le quali vengono generate tutte tre da un solo alternatore.

Partiamo ancora dal nostro alternatore bipolare e supponiamo che venga aggiunta una seconda coppia di spirali $P_1$ $Q_1$ (fig. 100) in tutto identica alla prima, ma spostata nel senso del movimento di $^1/_3$ di circonferenza. Fra i capi $A_1$ $B_1$ avremo una f. e. m. alternativa identica a quella che si ha fra A e B, ma in ritardo. Se la curva I (fig. 101) rappresenta la f. e. m. che si

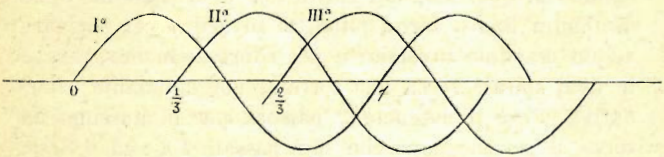



Fig. 101.

ha fra A B, quella fra $A_1$ $B_1$ sarà rappresentata dalla curva II. Se poi si aggiunge una terza coppia di spirali $P_2$ $Q_2$ spostata in avanti ancora di un terzo di

giro, avremo ai capi $A_2$ $B_2$ una nuova f. e. m. in ritardo di $^2/_3$ di giro rispetto alla prima e che potrà essere rappresentata dalla curva III. Dal nostro alternatore possiamo quindi ricavare tre correnti alternate identiche fra loro, dello stesso numero di periodi ma spostate di *fase* una rispetto all'altra di $^1/_3$ di periodo. L'alternatore in questo caso dicesi un alternatore *trifase*.

Per semplicità abbiamo considerato un alternatore bipolare; ma si possono avere alternatori trifasi a quattro, sei, otto ecc. poli e allora vi devono avere tre spirali, anzichè per ogni mezza circonferenza, per ogni quarto, sesto, ottavo ecc. di circonferenza.

Tre capi dei tre avvolgimenti possono essere riuniti in un ritorno comune.

Se ora le tre correnti si mandano in tre elettromagneti disposti come indica la fig. 102, facendo le connessioni indicate dalle lettere, la magnetizzazione di ognuno di quei magneti salirà fino a un massimo e poi diminuirà fino a zero, quindi si invertirà per arrivare ad un massimo invertito e poi ritornare a zero, perchè in ogni spirale si ha una corrente magnetizzante alternativa. Però il magnete 2 passerà per il massimo un terzo di periodo dopo che sarà passato l'1; ed il 3, un terzo di periodo dopo che sarà passato il due e così via. Cosichè in definitiva sarà come se si avesse un campo magnetico che ruotasse nel senso delle sfere di un orologio. Ora se in quel campo si trova un cilindro metallico girevole intorno all'asse O, quel cilindro ruota

trascinato dal campo ed ecco ottenuto il motore e campo ruotante.

Invece che un semplice cilindro, nei piccoli motori si forma con fili di rame una specie di gabbia di scoiat-

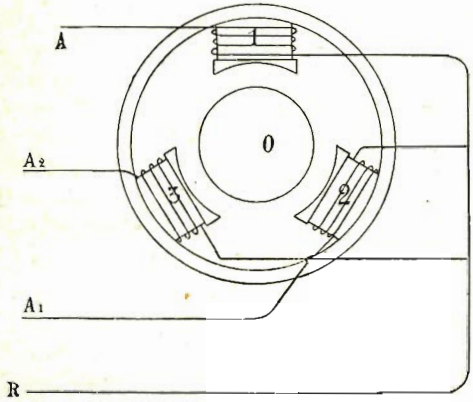



Fig. 102.

tolo intorno ad un nucleo di ferro. Nei motori più grossi, sulla parte ruotante è fatto un avvolgimento analogo a quello degli indotti della dinamo.

Abbiamo supposto che i tre avvolgimenti abbiano un ritorno comune, però questo ritorno si può sopprimere perchè esso non è mai attraversato da corrente. In ogni istante due degli altri tre fili fanno di ritorno al terzo, cosichè nel sistema trifase non sono necessari che tre soli conduttori.

Noteremo che sia negli alternatori, come nei trasformatori e nei motori a corrente alterna, i nuclei degli induttori e degli indotti devono essere formati di sottili lamine di ferro fra loro isolate, altrimenti le rapide variazioni magnetiche ingenerano delle correnti (§ 49) che scaldano i nuclei stessi con perdita di energia.

# APPENDICE

## Il telegrafo senza fili sistema Marconi

Si disse (§ 49) che qualunque variazione avvenga in un campo magnetico desta in ogni punto dei conduttori circostanti una forza elettromotrice che è tanto più grande quanto più intensa e quanto più rapida è la variazione. A ogni variazione, o per meglio dire, a ogni perturbazione magnetica, è come un' onda che si propaga nello spazio e che passa libera attraverso i corpi non conduttori e resta invece smorzata nei corpi conduttori ingenerandovi delle forze elettromotrici.

Le perturbazioni magnetiche possono essere prodotte da molti e svariati fatti e fra questi anche da variazioni delle correnti elettriche. Ogni corrente infatti, dà origine (§ 7) ad un campo magnetico le cui linee di forza sono dei circoli che hanno il centro nel conduttore. L' intensità di questo campo, dipendendo dalla intensità della corrente, varia ogni qualvolta questa intensità varia, e quindi ad ogni alterazione della corrente un' onda elettromagnetica si propaga nello spazio; ad ogni alterazione della corrente

delle forze elettromotrici si destano nei conduttori circostanti, tanto più intense quanto più intensa è la variazione e quanto più essa è rapida.

Ma le f. e. m. così indotte hanno una determinata direzione; per esempio se la variazione di corrente avviene in un conduttore rettilineo, le forze elettromotrici elementari che si destano in ciascun punto dei conduttori circostanti, sono in ogni punto parallele al conduttore. Ne segue, che se un conduttore è parallelo a quello in cui avviene la variazione di corrente, le forze elettromotrici elementari che si destano nei singoli punti si addizionano in una f. e. m. risultante fra i punti estremi.

Premesso ciò passiamo ad accennare agli apparecchi di telegrafia senza fili sistema Marconi e cominciamo dal trasmettitore.

Un rocchetto di Rhumkorff è formato, come si disse (§ 50) di una spirale primaria di poche spire in cui si manda una corrente interrotta e di una spirale sovrapposta di moltissime spire in cui ha origine, per induzione, una forza elettromotrice così elevata da dar luogo a delle lunghe scintille se gli estremi di questa seconda spirale sono tenuti a una certa distanza. Per rinforzare gli effetti, il rocchetto così formato è munito di un nucleo di ferro.

L' interruzione della corrente è ottenuta automaticamente in varî modi, ma in generale il nucleo stesso del rocchetto magnetizzandosi attrae (*fig.* 103) un ancora di ferro che interrompe il circuito primario, nel quale è inserita una batteria di pile o di accumulatori. Finchè si tiene abbassato un tasto, inserito nello stesso circuito, l' interruttore automatico funziona e si ha una serie di interruzioni di correnti, alle quali corrispondono tante scintille fra le due sfere dello *spinterometro* collegato agli estremi della spi-

rale secondaria. Ad una di queste sfere è unito anche un lungo filo di rame tenuto verticalmente, detto *filo d' aria*;

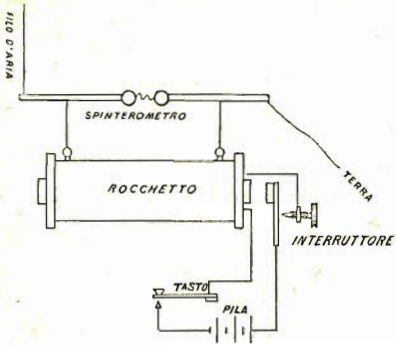



Fig. 103.

e l' altra sfera è collegata alla terra. Il filo d' aria si carica di elettricità insieme alla sfera a cui è collegato e poi si scarica rapidamente quando avviene la scintilla. E se la carica è rapida, la scarica è di gran lunga più rapida; si può dire che il tempo che impiega il filo d' aria a scaricarsi sta al tempo che impiega a caricarsi come un minuto secondo sta a una settimana. E poichè si può ammettere che durante la carica si abbia nel filo una corrente in un dato senso e durante la scarica una corrente in senso inverso, si vede che ad ogni scintilla si hanno nel filo d'aria delle rapidissime perturbazioni elettriche che equivalgono a delle rapidissime variazioni di corrente.

Ma oltre a ciò la scintilla, che è già per sè stessa una perturbazione così rapida da non durare che una frazione di milionesimo di secondo, non è semplice, ma esami-

nata attentamente con mezzi opportuni si trova che essa è composta di un gran numero di scintille di intensità decrescente dirette successivamente in un senso e in senso inverso. Pare che il conduttore dopo la prima scarica si ricarichi per scaricarsi poi di nuovo e non si riduca alla scarica completa che dopo un certo numero di oscillazioni elettriche. Per farsi un' idea del fenomeno si può pensare ad una gran vasca divisa per metà da una parete, e supporre che una metà sia piena d' acqua e l' altra metà sia vuota. Se improvvisamente si apre un largo foro nella parete vicino al fondo, l' acqua si precipita nella parte vuota e si solleva fino a superare il livello a cui scende dall' altra parte; ma poi ritorna e si solleva nella parte che era piena ad un livello più alto che in quella che era prima vuota, e continua così con delle differenze d' altezza sempre minori, finchè non si mette allo stesso livello nelle due parti.

Nel nostro filo d' aria abbiamo dunque ad ogni scintilla una serie di perturbazioni elettriche, equivalenti a variazioni di corrente rapidissime, della durata di centesimi di milionesimo di secondo, e queste perturbazioni generano intorno al filo delle perturbazioni magnetiche, delle onde elettromagnetiche che si propagano nello spazio e destano in tutti i conduttori che incontrano delle forze elettromotrici. E poichè le perturbazioni sono di una eccezionale rapidità, daranno luogo a delle forze elettromotrici intense, tali da essere sensibili anche in conduttori posti ad una grandissima distanza.

Ma come utilizzare questa f. e. m. di carattere così breve da potersi dire istantanea, per la trasmissione a distanza?

Anzitutto abbiamo visto che per addizionare le forze elettromotrici che si sviluppano nei varî punti di un conduttore, conviene che questo sia parallelo a quello che trasmette

le onde; conviene dunque avere al ricevitore un *filo d'aria* verticale, alto quanto più sia possibile; e all' estremità inferiore di questo collegare l'apparecchio il più adatto a rivelare, non tanto le forze elottromotrici infinitesime, quanto quelle di carattere istantaneo; il *coherer*.

Il coherer è fondato sui fenomeni che presentano i contatti imperfetti. Suppongasi di avere due pezzi di metallo le cui superficie non sieno di recente pulite, tenuti a contatto con una leggerissima pressione, se si cerca con un solo elemento di pila di far passare la corrente attraverso a quel contatto si trova che essa non passa. Se si prova invece con tre o quattro elementi si trova che essa passa benissimo e, una volta che essa è passata anche per un tempo brevissimo con più elementi, passa benissimo anche con un solo elemento. La resistenza dunque di quel contatto imperfetto è sceso da un valore infinitamente grande ad un valore piccolo per il solo fatto che esso è stato sottoposto per un breve istante ad una forza elettromotrice sufficientemente elevata. Se poi si scuotono anche leggermente quei pezzi metallici, la resistenza del contatto ritorna immediatamente grandissima.

Nel coherer si hanno molti contatti imperfetti giacchè esso è formato da due piccoli cilindretti d' argento di 4 mill. di diametro, racchiusi a mezzo millimetro di distanza l'uno dall' altro in un tubetto di vetro dello stesso diametro, e la piccola cavità che rimane fra i detti cilidretti è per metà riempita di finissima limatura di nichel e argento. Fra granellino e granellino ha luogo un contatto imperfetto, che la corrente deve attraversare per passare da un cilindretto all' altro.

Il coherer viene collegato con uno dei cilindretti suoi all' estremità del filo d' aria e con l' altro cilindretto alla

terra (*fig.* 104). Esso fa parte di uno circuito in cui è inserito un elemento di pila e un relais, ossia un elettromagnete che quando viene eccitato chiude il circuito di una

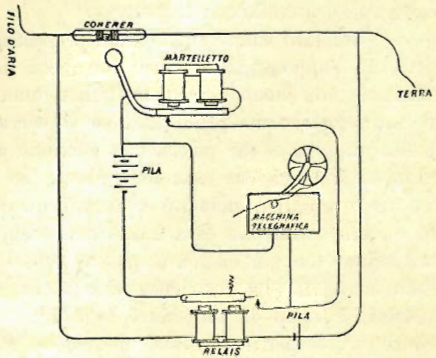



Fig. 104.

seconda pila. Questa pila fa agire una macchina telegrafica e un ordinario vibratore da campanello elettrico il cui battaglio urta contro il coherer.

Nelle condizioni normali presentando la limatura resistenza infinita alla forza elettromotrice di un solo elemento, il relais rimane aperto; ma appena si abbassa il tasto del trasmettitore, le onde elettromagnetiche investono il filo del ricevitore e vi generano una forza elettromotrice superiore a quella di un solo elemento, la quale, per quanto istantanea, rende la limatura conduttrice anche per un solo elemento. Allora il relais si chiude, la macchina telegrafica agisce e il martelletto battendo contro il coherer tende a far ritornare le polveri allo stato primitivo. Ma se

il tasto del trasmettitore è sempre abbassato e le onde elettromagnetiche continuano a essere transverse, la limatura ritorna subito nuovamente conduttrice e il relais si richiude nuovamente.

Si vede quindi come il ricevitore seguita a funzionare finchè al trasmettitore il tasto è tenuto abbassato, e cessa appena il tasto viene alzato. Si possono quindi trasmettere dei segnali brevi e lunghi che si possono far corrispondere ai punti e alle linee dell' ordinaria telegrafia Morse.

L' apparecchio è così sensibile che si può trasmettere a parecchie diecine di chilometri. In Italia due stazioni, a l'Isola Palmaria e a Livorno, (70 Km.) corrispondono continuamente fra loro.

Gli ostacoli come fabbricati, colline ecc., non disturbano sensibilmente la trasmissione se la loro altezza è piccola relativamente alla distanza che separa le due stazioni e non sono vicini nè a l' una nè all' altra. In generale è necessario che nessuna altra trasmissione venga fatta in vicinanza delle due stazioni che si corrispondono, altrimenti le onde si sovrappongono e viene ingenerata confusione. Tuttavia recentemente il Prof. Slaby a Berlino, con opportune disposizioni dei fili d' aria è riuscito a ricevere contemporaneamente in un medesimo punto due telegrammi provvenienti uno da una stazione trasmettitrice posta a 5 Km. di distanza a l' altra da un' altra stazione posta a 15 kilometri.

La telegrafia senza fili può rendere utili servigi in alcuni casi speciali, come sarebbe nella corrispondenza fra le navi e la costa e attraverso alcune maniche dove non si possono mantenere i cavi sottomarini, e in casi di guerra.

---

# INDICE

## CAPITOLO I.

1. — Calamite naturali e artificiali — Poli — Linea neutra — Forza portante . . . . . *Pag.* 1
2. — Diversità fra i poli — Azione direttrice della terra — Meridiano magnetico — Ago magnetico — Bussola . . . . . » 3
3. — Azione fra i poli . . . . . » 5
4. — Linee di forza — Campo magnetico — Direzione delle linee di forza — Magnete senza azione esterna . . . . . » 6
5. — Proprietà delle linee di forza — Induzione magnetica — Magnetismo indotto dal campo terrestre — Magnetismo indotto in un anello . . . » 9
6. — Permeabilità e resistività magnetica — Corpi diamagnetici . . . . . » 13

## CAPITOLO II.

7. — Fenomeni che si osservano in due lastre una di zinco e l'altra di rame immerse nell'acqua acidulata — Campo magnetico prodotto da un filo metallico che collega le due lastre — Corrente — La direzione del campo dipende dalla direzione della corrente — Modo di riconoscere la direzione della corrente — Pila — Elettrodi — Circuiti — Conduttori — Isolanti . . . . . » 16
8. — Azioni nell'interno delle pile — Proprietà dello zinco amalgamato — Polarizzazione — Depolarizzante — Pile a depolarizzante. . . . . » 21

9 — Non è necessario che le lamine sieno di zinco e rame — Possono essere anche dello stesso metallo purchè in condizioni diverse — Principio su cui si fondano gli accumulatori . . . . . *Pag.* 24

CAPITOLO III.

10. — Modo di misurare le correnti — Galvanometri — Unità di corrente — Amperometri . . . . . » 27
11. — Resistenza elettrica — Come varia colle dimensioni dei conduttori — Resistenza specifica — Calcolo della resistenza di un conduttore — Reostati — La terra usata come conduttore — Variazione della resistenza con la temperatura — Unità di resistenza . . . . . » 30
12. — Forza elettromotrice — Modo di misurarla — Unità di forza elettromotrice — Voltmetri. . . » 35
13. — Differenza di potenziale — Come varia in un circuito — Legge di Ohm — Caduta di potenziale per la resistenza del generatore — Estensione della legge di Ohm — Vari enunciati — Esempi . . » 37
14. — Disposizione in serie — Disposizione in derivazione » 42

CAPITOLO IV.

15. — Campo magnetico prodotto da un conduttore piegato in cerchio — Campo d'una spirale — Elettrocalamita — Modo di riconoscere la polarità data la direzione della corrente — Elettrocalamite a ferro di cavallo — Circuito magnetico — Riluttanza — Potenza magnetizzante di una spirale — Saturazione — Magnetismo residuo . » 49

CAPITOLO V.

16. — Forza elettromotrice indotta in un circuito che si muove in un campo magnetico . . . . . » 6
17. — Forze elettromotrici indotte in spire avvolte su di un anello di ferro che ruota in un campo magnetico — Modo di ottener la corrente in un circuito esterno — Collettore — Indotto. . . . » 58

18. — Reazione dell' indotto — Spostamento della linea di contatto delle spazzole . . . . . *Pag.* 62
19. — Modo di ottenere il campo magnetico in cui deve ruotare l'indotto — Dinamo — Nomenclatura delle varie parti — Eccitazione separata e autoeccitazione — Dinamo in serie, in derivazione e compound — Come principia l' autoeccitazione . . » 63
20. — Varie forme di dinamo. . . . . » 67

CAPITOLO VI.

21. — Applicazione della proprietà magnetizzante della corrente alla telegrafia — Alfabeto telegrafico —
22. — Modo di corrispondere nei due sensi con una sola linea — Cenno sulle linee telegrafiche . . . . » 74
23. — Applicazione dell' elettrocalamita alle suonerie elettriche — Modo di funzionare del campanello elettrico . . . . . » 78
24. — Chiamata reciproca fra due stazioni con una sola pila — Chiamata reciproca fra due stazioni con una sola linea — Chiamate da più punti ad una sola stazione — Quadri indicatori — Regola da seguire nel far un impianto complesso . . . . » 80

CAPITOLO VII.

25. — Riscaldamento dei conduttori per effetto della corrente — Punto di massimo riscaldamento — Applicazione alle spolette elettriche e ai cannelli elettrici . . . . . » 86
26. — Esplosione di gruppi di spolette in serie o in derivazione — Esploditori meccanici . . . . » 89

CAPITOLO VIII.

27. — Applicazione dell' arroventamento prodotto dalla corrente alla lampada a incandescenza — Opportunità di usare il carbone — Parti di una lampada — Portalampade — Cenno sulla formazione dei filamenti. . . . . » 94

28. — Condizione prima a cui deve soddisfare una lampada a incandescenza — Tensioni per cui si costruiscono ordinariamente le lampade — Potenza luminosa — Dati delle lampade comuni — Resistenza a caldo e a freddo — Invecchiamento della lampada e cause che abbreviano la durata — Funzionamento più economico . . . . . *Pag.* 97

CAPITOLO IX.

29. — Formazione dell' arco voltaico — Arco fra carboni — Arco fischiante — Arco fiammeggiante — Variazione dell' intensità di corrente e della differenza di potenziale colla lunghezza dell' arco — Forza contro elettromotrice. . . . . » 101
30. — Influenza della resistenza del circuito sui valori massimo e minimo della corrente che attraversa l' arco — Resistenze compensatrici — Archi in serie . . . . . » 107
31. — Aspetto dell' arco — Cratere — Diverso aspetto e diverso consumo dei carboni — Carboni con anima — Dimensioni usuali — Distribuzione della luce intorno all'arco — Intensità media sferica — Concentramento prodotto dagli specchi — Proprietà degli specchi . . . . . » 111
32. — Necessità dei regolatori — Varie categorie di regolatori e loro principio — Un esempio di regolatore . . . . . » 117

CAPITOLO X.

33. — Reversibilità della dinamo — Motori in serie, in derivazione, compound — Scelta del motore secondo lo scopo da ottenere — Alimentazione in serie o in derivazione. . . . . » 121
34. — Modo di ottenere le variazioni di velocità . . . » 124
35. — Modo di invertire la corrente — Condizione necessaria perchè si inverta il movimento di un motore — Disposizione per avere la variazione di velocità e l' inversione del moto. . . . . » 125

36. — L'intensità della corrente è maggiore a motore frenato che a motore in moto — Forza controelettromotrice — Resistenza di messa in moto . *Pag.* 129
37. — Arresto del motore — Effetto della chiusura dello indotto in corto circuito — Condizione per l'arresto immediato . . . . . » 132

CAPITOLO XI.

38. - I corpi sono inerti — L'inerzia sussiste anche per le parti infinitesime dei corpi . . . . . » 135
39. — Per variare lo stato di un corpo occorre una forza — Quando una forza altera lo stato di un corpo esegue un lavoro — Confronto delle forze col peso — Unità di forza (Chilogrammo) — Il lavoro è dato dal prodotto di una forza per una lunghezza — Unità di lavoro (Chilogrammetro) . . » 138
40. — Una macchina è tanto più potente quanto maggiore è il lavoro che essa può produrre in un dato tempo — Potenza di una macchina — Unità di potenza (Chilogrammetro-secondo, Cavallo) — Esempio di una macchina a vapore a velocità costante . . . . . » 144
41. — Effetti del lavoro fatto da una forza — Lavoro resistente e lavoro attivo — Il lavoro attivo fatto da una forza va impiegato parte a produrre lavoro resistente, parte a sviluppar calore per attrito vinto — La seconda parte non manca mai — Il moto perpetuo è assurdo . . . . . » 146
42. — A uno sviluppo di calore corrisponde un lavoro attivo fatto da una forza — Per mantener la corrente è necessario un lavoro attivo — La corrente trasporta e trasforma un lavoro — La potenza trasformata in un circuito è data dal prodotto dell'intensità per la differenza di potenziale agli estremi — Nuova unità di potenza (Watt) — Esempi . . . . . » 149
43. — Potenza utile e rendimento commerciale di una dinamo — Potenza elettrica, potenza utile e rendimento di un motore elettrico — Applicazione di un motore . . . . . » 151

CAPITOLO XII.

44. — Condizione essenziale per il funzionamento di un impianto in derivazione — Modo di mantener costante la differenza di potenziale ai poli di una dinamo in derivazione — Reostato di campo — Cause che fanno variare la differenza di potenziale ai poli di una dinamo — Esempi — Modo di ottenere l'autoregolazione in una dinamo a velocità costante — Dinamo compound — Importanza del reostato nelle dinamo compound . . *Pag.* 155
45. — Cenno sull'accoppiamento delle dinamo in parallelo . . . . . » 162

CAPITOLO XIII.

46. — Rete di distribuzione — Scelta della linea principale — Perdita di potenziale per la resistenza dei conduttori — La corrente che può attraversare un conduttore è limitata dal riscaldamento che essa produce — Densità di sicurezza . . . » 164
47. — Effetti dannosi dei corti circuiti — Valvole di sicurezza — Come devono esser disposte le valvole perchè sieno efficaci — Valvole di gruppo e di riunioni di gruppi . . . . . » 169
48. — Apparecchi di protezione delle dinamo — Interrutori a massima — Punti in cui più di frequente si formano i corti circuiti — Alcune precauzioni da aversi negli impianti. . . . . » 174

CAPITOLO XIV.

49. — Concatenamento dei circuiti elettrici con le linee di induzione — Forza elettromotrice indotta in un circuito al variare delle linee d'induzione concatenate . . . . . » 179
50. — Alcuni casi d'induzione . . . . . » 182
51. — Cenno sugli alternatori — Forza elettromotrice alternativa — Periodo — Frequenza . . . . . » 185
52. — Corrente alternativa — Misura della corrente alternativa . . . . . » 190

53. — Utilità delle alte tensioni nei trasporti di energia a distanza — Superiorità della corrente alternata nei trasporti a grandi distanze e nelle distribuzioni in grandi zone per la facilità con cui può essere trasformata . . . . . *Pag.* 191
54. — Cenni sui motori sincroni e sui motori a campo ruotante trifasi . . . . . » 193

Appendice. — Cenni sul telegrafo senza fili sistema Marconi. . . . . » 199

Pubblicazioni della Tipografia R. Istituto Sordomuti. GENOVA

**Ing. GIULIO BERTOLINI**

TENENTE DI VASCELLO
già Allievo dell' Istituto Elettro-tecnico Montefiore
DELL' UNIVERSITÀ DI LIEGI

# NOZIONI DI ELETTRICITÀ
## E DI MAGNETISMO

PARTE PRIMA
**Nozioni Teoriche**

*Un Vol. di pag. 482 con 232 incisioni legato tutta tela e doratura. — Lire* **10.**

**E. PRESBITERO**

CAPITANO DI FREGATA

# MANUALE DEL MARINO

*CONTENENTE:*

Elementi di Idrografia, di Meteorologia, di Navigazione Astronomica e Stimata, di Macchine a Vapore, di Artiglieria, di amministrazione e Merceologia ecc. ecc.

*Un Vol. di pag. XVI-868 con 26 Tav. e 90 incis. intercalate nel testo, legato tutta tela e doratura. — L.* **9.**

**BOCCARDO Prof. Sen. GEROLAMO**

# FISICA DEL GLOBO

SPAZI, CLIMI E METEORE

Corso completo di Geografia Fisica e Metereologia

*Un grosso Vol. in 8.° con 108 Inc. e 16 Tavole. — L.* **22**

DELLO STESSO AUTORE:

# SISMOPIROLOGIA, TERREMOTI, VULCANI

E LENTE OSCILLAZIONI DEL SUOLO

Saggio di una teoria di Geografia Fisica

*Un Vol. in 16.° illustrato da 34 Incisioni e 5 Tav. — L.* **4**

**LAUGERI EDOARDO**

# IL CAPITANO MARITTIMO

IN INGHILTERRA

OSSIA

raccolta delle Leggi, regole e consuetudini inglesi in materia Marittimo-Commerciale

*Un Volume in 16.° grande. — Lire* **6.**

DELLO STESSO AUTORE:

# DIZIONARIO DI MARINA E DI COMMERCIO ITALIANO

ITALIANO-INGLESE E INGLESE-ITALIANO

*Un Volume a 2 colonne in 8.° grande. — Lire* **12.**

**SALVIATI Prof. EDOARDO**

# PRINCIPII DI ASTRONOMIA NAUTICA

E CALCOLI PRATICI DI NAUTICA

Ordinati secondo il Programma 30 Gennaio 1873 per le Scuole Nautiche

*Un Volume con 1 Tavola. — Lire* **2, 50.**

DELLO STESSO AUTORE:

# ELEMENTI DI ASTRONOMIA NAUTICA

Ordinati secondo il Program. Minister. 30 Genn. 1873, ad uso delle Scuole Nautiche

*Un Volume di 372 facc. con 7 Tavole. — Lire* **8.**

DELLO STESSO AUTORE:

# CORSO DI TRIGONOMETRIA

Ordinato secondo i Program. Minister. per gli Istituti e Scuole di Marina Mercantile

*Un Volume. — Lire* **2, 50.**

DELLO STESSO AUTORE:

# NAVIGAZIONE STIMATA

Ordinata secondo i Program. Minister. per gli Istituti e Scuole di Marina Mercantile.

*Un Volume con Atlante di 6 Tavole. — Lire* **3.**

*Prezzo Lire* **2,50**